

TUGAS AKHIR - KS 141501

**VISUALISASI HASIL OPTIMASI PENENTUAN JUMLAH
BASE TRANSCEIVER STATION (BTS) TERBAIK UNTUK
MENARA GSM (2G) DI AREA JAWA TENGAH BERBASIS
SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS (SIG) (STUDI KASUS :
PT. TELKOMSEL REGIONAL JAWA TENGAH & DIY,
SEMARANG)**

***VISUALIZATION RESULT OF OPTIMIZATION FOR THE
BEST NUMBER DETERMINATION OF BASE
TRANSCEIVER STATION (BTS) GSM (2G) TOWER IN
CENTRAL JAVA BASED ON GEOGRAPHIC
INFORMATION SYSTEM (GIS) (CASE STUDY : PT.
TELKOMSEL REGIONAL JAWA TENGAH & DIY,
SEMARANG)***

**MIFTAH REZA MAULANA
NRP 5213 100 171**

**Dosen Pembimbing :
Edwin Riksakomara, S. Kom., M. T.**

**DEPARTEMEN SISTEM INFORMASI
Fakultas Teknologi Informasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - KS 141501

**VISUALISASI HASIL OPTIMASI PENENTUAN JUMLAH
BASE TRANSCEIVER STATION (BTS) TERBAIK
UNTUK MENARA GSM (2G) DI AREA JAWA TENGAH
BERBASIS SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS (SIG)
(STUDI KASUS : PT. TELKOMSEL REGIONAL JAWA
TENGAH & DIY, SEMARANG)**

**MIFTAH REZA MAULANA
NRP 5213 100 171**

**Dosen Pembimbing :
Edwin Riksakomara, S. Kom., M. T.**

**DEPARTEMEN SISTEM INFORMASI
Fakultas Teknologi Informasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - KS 141501

***VISUALIZATION RESULT OF OPTIMIZATION FOR
THE BEST NUMBER DETERMINATION OF BASE
TRANSCIEVER STATION (BTS) GSM (2G) TOWER IN
CENTRAL JAVA BASED ON GEOGRAPHIC
INFORMATION SYSTEM (GIS) (CASE STUDY : PT.
TELKOMSEL REGIONAL JAWA TENGAH & DIY,
SEMARANG)***

MIFTAH REZA MAULANA
NRP 5213 100 171

Dosen Pembimbing :
Edwin Riksakomara, S. Kom., M. T.

DEPARTEMEN SISTEM INFORMASI
Fakultas Teknologi Informasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

LEMBAR PENGESAHAN

**VISUALISASI HASIL OPTIMASI PENENTUAN JUMLAH
BASE TRANSCEIVER STATION (BTS) TERBAIK UNTUK
MENARA GSM (2G) DI AREA JAWA TENGAH BERBASIS
SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS (SIG) (STUDI KASUS :
PT. TELKOMSEL REGIONAL JAWA TENGAH & DIY,
SEMARANG)**

TUGAS AKHIR

Disusun untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer
pada

Departemen Sistem Informasi
Fakultas Teknologi Informasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

MIFTAH REZA MAULANA
5213 100 171

Surabaya, 13 Juni 2017

**KETUA
DEPARTEMEN SISTEM INFORMASI**

Dr. Ir. Aris Tjahyanto, M. Kom.

DEPARTemen NIP 19650310199102001
SISTEM INFORMASI

LEMBAR PERSETUJUAN

VISUALISASI HASIL OPTIMASI PENENTUAN JUMLAH BASE TRANSCEIVER STATION (BTS) TERBAIK UNTUK MENARA GSM (2G) DI AREA JAWA TENGAH BERBASIS SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS (SIG) (STUDI KASUS : PT. TELKOMSEL REGIONAL JAWA TENGAH & DIY, SEMARANG)

TUGAS AKHIR

Disusun Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer
pada

Jurusan Sistem Informasi
Fakultas Teknologi Informasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Oleh :

MIFTAH REZA MAULANA
NRP.5213 100 171

Disetujui Tim Penguji

: Tanggal Ujian
Periode Wisuda

: 14 Juni 2017
: September 2017

Edwin Riksakomara, S.Kom., M.T.

(Pembimbing I)

Wiwik Anggraeni, S.Si., M.Kom.

(Penguji I)

Faizal Mahananto S.Kom, M.Eng., Ph.D.

(Penguji II)

**VISUALISASI HASIL OPTIMASI PENENTUAN
JUMLAH BASE TRANSCEIVER STATION (BTS)
TERBAIK UNTUK MENARA GSM (2G) DI AREA
JAWA TENGAH BERBASIS SISTEM INFORMASI
GEOGRAFIS (SIG) (STUDI KASUS : PT. TELKOMSEL
REGIONAL JAWA TENGAH & DIY, SEMARANG)**

Nama Mahasiswa : Miftah Reza Maulana
NRP : 5213 100 171
Jurusan : Sistem Informasi FTIf-ITS
Pembimbing : Edwin Riksakomara, S.Kom., M.T.

ABSTRAK

Perkembangan dunia telekomunikasi di Indonesia saat ini sudah sangat pesat, terutama pada bidang komunikasi selular. Hal tersebut ditandai dengan semakin banyaknya teknologi nirkabel (wireless) yang telah digunakan oleh hampir seluruh masyarakat yang ada di Indonesia. Menurut Asosiasi Telekomunikasi Selular Indonesia (ATSI), tercatat hingga akhir tahun 2011, jumlah pelanggan telepon selular mencapai 250 juta pelanggan. Hal tersebut yang melatar belakangi beberapa operator penyedia jasa layanan telekomunikasi di Indonesia berlomba - lomba dalam menyediakan jaringan komunikasi bagi pelanggan mereka agar dapat memenuhi permintaan konsumen terhadap kebutuhan komunikasi yang semakin meningkat setiap tahunnya. Salah satunya adalah PT. Telekomunikasi Selular (Telkomsel). Untuk meningkatkan kualitas jaringan guna mendukung kegiatan bisnis, Telkomsel membangun beberapa Base Transceiver Station (BTS) guna memperkuat coverage area jaringan sinyal komunikasi dari produk mereka. Tower BTS dibangun di beberapa area yang tersebar di seluruh Indonesia. Perusahaan seringkali mengalami kendala dalam proses penentuan jumlah BTS yang optimal. Penentuan jumlah BTS harus tepat agar efektif dan

efisien dan tidak mengeluarkan terlalu banyak biaya sehingga tidak menimbulkan kerugian bagi perusahaan.

Dari permasalahan tersebut, penelitian tugas akhir ini bertujuan untuk membangun sebuah Sistem Informasi Geografis (SIG) yang dapat membantu perusahaan dalam proses optimasi penentuan jumlah BTS yang optimal dengan menyediakan informasi yang dibutuhkan untuk proses pengambilan keputusan. Penelitian tugas akhir ini menggunakan metode Integer Linear Programming yang merupakan metode optimasi yang dapat digunakan untuk menyelesaikan suatu problema matematika dari model permasalahan yang mempunyai fungsi tujuan dan melibatkan batasan masalah agar mendapat hasil yang paling optimal.

Sehingga diharapkan penelitian tugas akhir ini dapat membantu perusahaan dalam pengambilan keputusan terkait dari optimasi penentuan jumlah BTS yang optimal bagi PT. Telekomunikasi Selular (Telkomsel) Regional Jawa Tengah & DIY, Semarang.

Aplikasi yang akan dikembangkan nantinya adalah berbasis Sistem Informasi Geografis dengan menggunakan bahasa pemrograman HTML5, CSS3, JAVASCRIPT, dan PHP.

Kata Kunci: Sistem Informasi Geografis, Integer Linear Programming, Optimasi, Base Transceiver Station, PT. Telekomunikasi Selular (Telkomsel).

***VISUALIZATION RESULT OF OPTIMIZATION FOR THE
BEST NUMBER DETERMINATION OF BASE
TRANSCIVER STATION (BTS) GSM (2G) TOWER IN
CENTRAL JAVA BASED ON GEOGRAPHIC
INFORMATION SYSTEM (GIS) (CASE STUDY : PT.
TELKOMSEL REGIONAL JAWA TENGAH & DIY,
SEMARANG)***

Student Name : Miftah Reza Maulana
NRP : 5213 100 171
Department : Sistem Informasi FTIf-ITS
Supervisor : Edwin Riksakomara, S.Kom., M.T.

ABSTRACT

The development of telecommunications in Indonesia is now very rapidly, especially in the field of mobile communications. It is marked by the increasing number of wireless technologies (wireless) which has been used by almost all people in Indonesia. According to the *Asosiasi Telekomunikasi Seluler Indonesia* (ATSI), recorded by the end of 2011, the number of mobile phone subscribers reached 250 million subscribers. That the background of several operators of telecommunications service providers in Indonesia compete - competition in providing communication networks to their customers in order to meet consumer demand for the communications needs increase every year. One of them is PT. Telekomunikasi Cellular (Telkomsel). To improve the quality of the network to support business activities, Telkomsel build multiple Base Transceiver Station (BTS) in order to strengthen the coverage area network communication signals from their products. BTS tower was built in several areas throughout Indonesia. Companies often face obstacles in the process pentuan optimum number of base stations. Determining the number of base stations to be precise to be effective and efficient and do not spend too much cost so as not to cause harm to the company.

Of these problems, this thesis research aims to develop a Geographic Information System (GIS) that can help companies in the optimization process of determining the optimal number of base stations to provide the information necessary for the decision making process. This thesis uses Integer Linear Programming method which is a method of optimization that can be used to solve a mathematical problem of a model that has the function of interest issues involving boundary problems in order to get the most optimal results.

So expect this research can help companies in decisions regarding the optimization of the optimal determination of the number of base stations for PT. Telekomunikasi Seluler (Telkomsel) Regional Central Java and Yogyakarta, Semarang.

Applications that will be developed later is based Geographic Information System using the programming language HTML5, CSS3, JAVASCRIPT, and PHP.

Keywords: *Geographic Information Systems, Integer Linear Programming, Optimization, Base Transceiver Station, PT. Telecommunication Cellular (Telkomsel)*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan yang Maha Esa sehingga penulis dapat menyelesaikan buku tugas akhir dengan judul :

**OPTIMASI PENENTUAN JUMLAH BASE
TRANSCIEIVER STATION (BTS) TERBAIK UNTUK
MENARA GSM (2G) DI AREA JAWA TENGAH
BERBASIS SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS (SIG)
(STUDI KASUS : PT. TELKOMSEL REGIONAL JAWA
TENGAH & DIY, SEMARANG)**

yang merupakan salah satu syarat kelulusan pada Departemen Sistem Informasi, Fakultas Teknologi Informasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam pengerjaan tugas akhir yang berlangsung selama satu semester, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada yang senantiasa terlibat secara langsung memberikan bantuan dan dukungan dalam pengerjaan tugas akhir ini :

- Tuhan yang Maha Esa yang telah memberikan kesehatan, kemudahan, kelancaran dan kesempatan untuk penulis hingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
- Kedua orang tua, kakak, dan keluarga yang selalu hadir senantiasa mendoakan dan memberikan kasih sayang serta semangat tiada henti untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
- Bapak Dr. Ir. Aris Tjahyanto, M.Kom, selaku Ketua Departemen Sistem Informasi ITS, yang telah menyediakan fasilitas terbaik untuk kebutuhan penelitian mahasiswa.
- Bapak Edwin Riksakomara, S.Kom., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah banyak

meluangkan waktu untuk membimbing, mengarahkan, dan mendukung dalam penyelesaian Tugas Akhir.

- Bapak Arif Djunaidy, Ir., M.Sc., PhD., Prof. selaku dosen wali yang telah memberikan arahan terkait perkuliahan di Departemen Sistem Informasi.
- Seluruh dosen pengajar beserta staff dan karyawan di Departemen Sistem Informasi, FTIf ITS Surabaya yang telah memberikan ilmu dan bantuan kepada penulis selama 8 semester ini.
- Teman-teman seperjuangan pada laboratorium RDIB dan 13TRANIS, yang selalu memberikan semangat positif untuk menyelesaikan Tugas Akhir dengan tepat waktu.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih belum sempurna dan memiliki banyak kekurangan di dalamnya. Dan oleh karena itu, penulis meminta maaf atas segala kesalahan yang dibuat penulis dalam buku Tugas Akhir ini. Penulis membuka pintu selebar-lebarnya bagi pihak yang ingin memberikan kritik dan saran, dan penelitian selanjutnya yang ingin menyempurnakan karya dari Tugas Akhir ini. Semoga buku Tugas Akhir ini bermanfaat bagi seluruh pembaca.

Surabaya, 2017

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR SCRIPT	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	4
1.4. Tujuan Penelitian	5
1.5. Manfaat Penelitian	5
1.6. Relevansi	5
1.7. Metode Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Penelitian Sebelumnya	7
2.2. Dasar Teori	11
2.2.1. Optimasi.....	11
2.2.2. Integer Linear Programming	11
2.2.3. <i>Global System for Mobile Communication</i> (GSM).....	13

2.2.4.	Arsitektur Jaringan GSM	14
2.2.5.	<i>Base Transceiver Station (BTS)</i>	16
2.2.6.	<i>Haversine Formula</i>	21
2.2.7.	<i>Geographic Information System (GIS)</i>	23
BAB III METODOLOGI TUGAS AKHIR		25
3.1.	Diagram Metodologi.....	25
3.2.	Uraian Metodologi	27
3.2.1.	Identifikasi Permasalahan	27
3.2.2.	Studi Literatur	27
3.2.3.	Pengumpulan Data.....	27
3.2.4.	Pembuatan Model Optimasi.....	28
3.2.5.	Perancangan <i>Use Case Diagram</i>	29
3.2.6.	Pengembangan Aplikasi	29
3.2.7.	Analisa Hasil dan Penarikan Kesimpulan	29
3.2.8.	Penyusunan buku Tugas Akhir.....	30
BAB IV PERANCANGAN		31
4.1.	Pengumpulan Data.....	31
4.1.1.	Data Pemetaan Lokasi BTS	31
4.1.2.	Data Estimasi Biaya Pembangunan BTS	33
4.1.3.	Data Antenna Sectoral	35
4.2.	Proses Pembuatan Model Optimasi	37
4.2.1.	Penentuan Variabel Keputusan (<i>Decision Variable</i>).....	37
4.2.2.	Penentuan Fungsi Tujuan (<i>Objective Function</i>).....	37

4.2.3.	Penentuan Kendala atau Batasan (<i>Constraints</i>).....	38
4.3.	Proses Perancangan <i>Use Case Diagram</i> Aplikasi...	40
4.3.1.	Penentuan <i>Actor</i> , <i>Use Case</i> dan <i>Relation</i>	40
4.3.2.	Pembuatan <i>Use Case Diagram</i>	42
4.3.3.	Penjelasan <i>Use Case Description</i>	43
BAB V	IMPLEMENTASI	49
5.1.	Lingkungan Uji Coba	49
5.2.	Persiapan Pengembangan Aplikasi	49
5.3.	Pengembangan Aplikasi	50
5.3.1.	Inisialisasi <i>Library</i> kedalam Project Folder	50
5.3.2.	Desain dan Pengembangan Aplikasi.....	52
5.4.	Penjelasan Alur Kerja Aplikasi.....	62
BAB VI	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	71
6.1.	Lingkungan Uji Coba	71
6.2.	Validasi Model.....	72
6.3.	Analisis Hasil.....	74
6.3.1.	Analisa Hasil Optimasi	74
6.3.2.	Analisis Sensitivitas.....	80
6.3.3.	Analisa Hasil Uji Sensitivitas.....	83
BAB VII	KESIMPULAN DAN SARAN	87
7.1.	Kesimpulan.....	87
7.2.	Saran.....	88
Daftar Pustaka.....		89

BIODATA PENULIS 93

Lampiran A A-1

Lampiran B..... B-1

Lampiran C..... C-1

Lampiran D D-1

Lampiran E..... E-1

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Base Transceiver Station (Source: Wikipedia) ..	17
Gambar 2.2. Tower BTS (Source: Google Images)	17
Gambar 2.3. Antena Sektoral (Source: Google Images)	18
Gambar 2.4. Antena Microwave (Source: Google Images) ...	18
Gambar 2.5. Shelter BTS (Source: Google Images)	19
Gambar 2.6. Contoh software GIS berbasis desktop (Source: Caliper)	24
Gambar 4.1. Aktor yang terlibat dalam <i>Use Case</i> adalah <i>User</i>	41
Gambar 4.2. Salah satu <i>Use Case</i> yang terdapat pada aplikasi	42
Gambar 4.3. Salah satu bentuk Relasi pada <i>Use Case Diagram</i>	42
Gambar 4.4. <i>Use Case Diagram</i> dari aplikasi GIS	43
Gambar 5.1. Inisialisasi Library pada project folder	51
Gambar 5.2. Tampilan Fitur Login	52
Gambar 5.3. Tampilan Fitur Utama Aplikasi GIS	55
Gambar 5.4. Tampilan Fitur Optimasi dan Validasi hasil pada Aplikasi GIS	59
Gambar 5.5. Alur Kerja Aplikasi	62
Gambar 5.6. Halaman login aplikasi (<i>index.php</i>)	62
Gambar 5.7. Halaman dashboard aplikasi (<i>app.php</i>)	63
Gambar 5.8. Komponen <i>Area Information</i>	64
Gambar 5.9. Komponen <i>GIS by Google Maps</i>	65

Gambar 5.10. Komponen <i>General Information</i>	66
Gambar 5.11. Halaman kedua aplikasi (<i>report.php</i>).....	66
Gambar 5.12. Komponen <i>Optimization</i>	67
Gambar 5.13. Komponen <i>Validation</i>	69
Gambar 6.1. Hasil Keluaran Optimasi Uji Coba Skenario 1..	76
Gambar 6.2. Hasil Keluaran Optimasi Uji Coba Skenario 2..	77
Gambar 6.3. Hasil Keluaran Optimasi Uji Coba Skenario 3..	79
Gambar 10.1. Hasil Uji Coba Skenario 1	1
Gambar 10.2. Hasil Uji Coba Skenario 2	2
Gambar 10.3. Hasil Uji Coba Skenario 3	3

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Penelitian Sebelumnya.....	7
Tabel 3.1. Diagram Metodologi Pelaksanaan Tugas Akhir...	26
Tabel 4.1. Data Pemetaan Lokasi BTS	32
Tabel 4.2. Data Pemetaan Lokasi BTS dalam bentuk CSV ..	33
Tabel 4.3. Data Estimasi Biaya Pembangunan BTS Macrocell (SST-4 Leg).....	34
Tabel 4.4. Data Estimasi Biaya Pembangunan BTS Microcell (Monopole).....	34
Tabel 4.5. Data Antenna Sectoral	36
Tabel 4.6. Penjelasan <i>Use Case</i> Melakukan Login.....	43
Tabel 4.7. Penjelasan <i>Use Case</i> Melihat Dashboard Aplikasi GIS	44
Tabel 4.8. Penjelasan <i>Use Case</i> Memetakan Lokasi BTS....	45
Tabel 4.9. Penjelasan <i>Use Case</i> Melihat Hasil Optimasi	46
Tabel 4.10. Penjelasan <i>Use Case</i> Melakukan Validasi Hasil Optimasi	47
Tabel 6.1. Perangkat Keras yang digunakan	71
Tabel 6.2. Perangkat Lunak yang digunakan	71
Tabel 6.3. Hasil Validasi Model	73
Tabel 6.4. Hasil Analisis Sensitivitas.....	80
Tabel 6.5. Analisa Hasil Uji Sensitivitas Percobaan-1.....	84
Tabel 6.6. Analisa Hasil Uji Sensitivitas Percobaan-2.....	84
Tabel 6.7. Analisa Hasil Uji Sensitivitas Percobaan-3.....	85
Tabel 11.1. Data Pemetaan Lokasi BTS	1

Tabel 12.1. Data masukan aplikasi dalam bentuk CSV1

DAFTAR SCRIPT

Script 5.1. Pemanggilan library kedalam Aplikasi	51
Script 5.2. <i>Source Code HTML</i> untuk Fitur Login	53
Script 5.3. <i>Source Code Javascript</i> untuk Fitur Login.....	54
Script 5.4. <i>Source Code Javascript</i> untuk menampilkan Google Maps.....	55
Script 5.5. <i>Source Code Javascript</i> untuk input file CSV ke dalam Aplikasi GIS.....	56
Script 5.6. <i>Source Code Javascript</i> untuk menghitung luas area pada Aplikasi GIS.....	57
Script 5.7. <i>Source Code HTML</i> untuk menampilkan nilai yang dimasukan oleh user.....	58
Script 5.8. <i>Source Code Javascript</i> untuk menyelesaikan model optimasi LP & ILP	60
Script 5.9. <i>Source Code Javascript & PHP</i> untuk validasi hasil optimasi.....	61

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

Dalam bab pendahuluan ini akan menjelaskan mengenai latar belakang masalah, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan tugas akhir, dan manfaat kegiatan tugas akhir. Berdasarkan uraian pada bab ini, diharapkan mampu memberi gambaran umum permasalahan dan pemecahan masalah pada tugas akhir.

1.1. Latar Belakang Masalah

Perkembangan dunia telekomunikasi di Indonesia saat ini sudah sangat pesat, terutama pada bidang komunikasi selular. Hal tersebut ditandai dengan semakin banyaknya teknologi nirkabel (*wireless*) yang telah digunakan oleh hampir seluruh masyarakat yang ada di Indonesia [1]. Hal ini didukung oleh jumlah angka konsumen yang terus bertambah setiap tahunnya. Asosiasi Telekomunikasi Seluler Indonesia (ATSI) mencatat, hingga akhir 2011, jumlah pelanggan telepon seluler mencapai 250 juta pelanggan [2]. Dari keterangan tersebut, berarti dapat menjadi peluang besar bagi para operator telekomunikasi di Indonesia.

Salah satu teknologi telekomunikasi selular yang banyak digunakan oleh masyarakat di Indonesia adalah telepon selular GSM. GSM (*Global System for Mobile Communication*) adalah salah satu dari beberapa teknologi *digital* standar yang pada awalnya berasal dari wilayah Eropa dimana teknologi ini bekerja pada jaringan dengan frekuensi 900 Mhz hingga 1900 Mhz [1]. Dalam teknologi GSM sendiri terdapat beberapa elemen jaringan (*network element*), salah satunya diantaranya adalah *BTS (Base Transceiver Station)* yang merupakan suatu elemen dalam jaringan selular (*cell network*) yang berperan penting sebagai pemancar dan penerima sinyal dari satu telepon selular menuju telepon selular lainnya [3].

Beberapa operator penyedia jasa layanan telekomunikasi di Indonesia berlomba - lomba dalam menyediakan jaringan komunikasi bagi pelanggan mereka agar dapat memenuhi permintaan konsumen terhadap kebutuhan komunikasi yang semakin meningkat setiap tahunnya. PT. Telekomunikasi Seluler (Telkomsel) adalah salah satu operator telekomunikasi terbesar di Indonesia. Proses bisnis utama dari Telkomsel adalah dalam menyediakan layanan jaringan telekomunikasi bagi pelanggannya [4]. Oleh karena itu, Telkomsel perlu melakukan manajemen kualitas jaringan yang baik agar dapat menunjang kegiatan bisnisnya. Karena kualitas jaringan berpengaruh terhadap tingkat kepuasan pelanggannya. Salah satu upaya yang dilakukan Telkomsel untuk meningkatkan kualitas jaringan guna mendukung kegiatan bisnisnya adalah dengan membangun beberapa *Base Transceiver Station (BTS)* guna memperkuat *coverage area* jaringan sinyal komunikasi dari produk mereka [5]. Tower *BTS* dibangun di beberapa area yang tersebar di seluruh Indonesia.

PT. Telkomsel Regional Jawa Tengah & DIY - Semarang, seringkali mengalami kendala dalam proses pentuan jumlah *BTS* dikarenakan belum memiliki aplikasi sendiri dan masih menggunakan bantuan beberapa aplikasi pihak ketiga. Proses penentuan jumlah *BTS* harus tepat agar efektif dan efisien. Untuk tipe *BTS* yang biasa digunakan oleh perusahaan sendiri ada dua jenis, yaitu *BTS Microcell* dan *BTS Macrocell*. Ada tiga parameter yang perlu diperhatikan dalam proses penentuan jumlah *BTS*. Parameter pertama adalah jangkauan dari *BTS* yang akan di bangun. Untuk *BTS* tipe *Microcell* memiliki jangkauan luas area hingga 12.56 km^2 , sedangkan *BTS* tipe *Macrocell* memiliki jangkauan luas area yang lebih besar yaitu hingga 78.5 km^2 . Parameter kedua adalah jumlah kanal (*timeslot*) yang dapat disediakan oleh setiap *BTS*. Kanal disini adalah sebuah kanal panggilan yang digunakan untuk melakukan komunikasi. Untuk *BTS* tipe *Microcell* mampu menyediakan hingga 240 kanal dalam satu *BTS*. 240 kanal disini berarti *BTS* tersebut dapat menyediakan 240 jalur

komunikasi yang dapat digunakan oleh pengguna untuk melakukan komunikasi dalam waktu yang bersamaan. Untuk BTS tipe Macrocell memiliki jumlah kanal yang lebih sedikit jika dibandingkan dengan Microcell, yaitu hanya sampai 180 kanal. Parameter ketiga adalah biaya yang menjadi pertimbangan bagi perusahaan dalam proses pembangunan BTS. Biaya disini meliputi biaya pembangunan menara BTS, perlengkapan dan Antenna yang digunakan dengan harapan tidak mengeluarkan biaya yang berlebih sehingga tidak menimbulkan kerugian bagi perusahaan.

Dari permasalahan di atas, dibutuhkan sebuah solusi yaitu sebuah Sistem Informasi Geografis (SIG) yang dapat membantu perusahaan dalam proses optimasi penentuan jumlah *BTS* yang optimal dengan menyediakan informasi yang dibutuhkan. Pembuatan sistem nantinya akan menggunakan metode *Integer Linear Programming* yang merupakan metode optimasi yang dapat digunakan untuk menyelesaikan suatu problema matematika dari model permasalahan yang mempunyai fungsi tujuan dan melibatkan batasan masalah agar mendapat hasil yang paling optimal. Aplikasi yang akan dikembangkan berbasis Sistem Informasi Geografis dengan menggunakan bahasa pemrograman *HTML5*, *CSS3*, *JAVASCRIPT*, dan *PHP*. Sistem ini dibangun bukan untuk menggantikan peran seorang pembuat keputusan (*decision maker*). Melainkan hanya sebagai pembantu/asisten dengan menyediakan data dan informasi yang dibutuhkan oleh seorang *decision maker* dalam proses pengambilan keputusan, sehingga setiap keputusan yang dibuat tetap merupakan hasil dari proses yang dilakukan oleh *decision maker*.

1.2. Perumusan Masalah

Perumusan masalah yang diangkat pada tugas akhir ini adalah:

- a. Bagaimana melakukan pemetaan data BTS pada peta Google Maps.

- b. Bagaimana membuat model optimasi menggunakan metode Integer Linear Programming.
- c. Bagaimana merancang dan membangun sistem informasi geografis dengan menggunakan metode Integer Linear Programming yang dapat digunakan untuk optimasi penentuan jumlah BTS yang optimal pada peta Google Maps.

1.3. Batasan Masalah

Batasan permasalahan dalam tugas akhir ini adalah :

- a. Studi kasus yang digunakan hanya pada PT. Telekomunikasi Selular (Telkomsel) Regional Jawa Tengah & DIY - Semarang.
- b. Data yang digunakan berasal dari Data Laporan BTS GSM (2G) di PT. Telkomsel Regional Jawa Tengah & DIY - Semarang periode 2016 dalam bentuk Microsoft Excel.
- c. Tipe BTS yang digunakan disini hanya 2 jenis, yaitu BTS tipe Microcell dan BTS tipe Macrocell dengan radius dan kapasitas yang dipakai adalah radius dan kapasitas rata-rata BTS pada umumnya.
- d. Penelitian tugas akhir ini menggunakan *tools* Haversine Formula dalam bentuk *Javascript* untuk menghitung luas area pada peta *Goolge Maps*.
- e. Penelitian tugas akhir ini menggunakan metode *Integer Linear Programming* untuk optimasi penentuan jumlah BTS yang optimal.
- f. Aplikasi sistem informasi geografis akan dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman *HTML5*, *CSS3*, *JAVASCRIPT*, dan *PHP*.
- g. Aplikasi dibangun dengan menggunakan XAMPP Control Panel, Microsoft Excel dan Notepad++.

1.4. Tujuan Penelitian

Berdasarkan hasil perumusan masalah dan batasan masalah yang telah disebutkan sebelumnya, maka tujuan yang dicapai dari tugas akhir ini adalah menerapkan metode Integer Linear Programming kedalam sebuah Sistem Informasi Geografis (SIG) yang dapat membantu perusahaan dalam proses optimasi penentuan jumlah BTS yang optimal dengan menyediakan informasi yang dibutuhkan dalam proses pengambilan keputusan.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

- a. Membantu PT. Telekomunikasi Selular (Telkomsel) Regional Jawa Tengah & DIY - Semarang dengan menyediakan informasi yang dibutuhkan dalam proses penentuan jumlah BTS yang optimal.
- b. Membantu mempercepat dan meminimalkan kesalahan dalam proses pengambilan keputusan yang dilakukan oleh PT. Telekomunikasi Selular (Telkomsel) Regional Jawa Tengah & DIY - Semarang.

1.6. Relevansi

Tugas akhir ini berkaitan dengan mata kuliah Riset Operasi, Sistem Pendukung Keputusan dan Pemrograman Berbasis Web yang tercangkup pada Laboratorium Rekayasa Data Dan Intelegensi Bisnis.

1.7. Metode Penulisan

Berikut ini akan dijelaskan metode penulisan tugas akhir dalam penelitian ini :

a. Bab I Pendahuluan

Dalam bab ini dijelaskan mengenai latar belakang, rumusan dan batasan masalah, tujuan dan manfaat pengerjaan tugas akhir ini.

b. Bab II Tinjauan Pustaka

Dijelaskan mengenai penelitian-penelitian serupa yang telah dilakukan serta teori – teori yang menunjang permasalahan yang dibahas pada tugas akhir ini

c. Bab III Metodologi

Dalam bab ini dijelaskan mengenai tahapan – tahapan apa saja yang harus dilakukan dalam pengerjaan tugas akhir

d. Bab IV Perencanaan

Pada bab ini akan dijelaskan bagaimana rancangan dari penelitian tugas akhir yang meliputi subyek dan obyek dari penelitian, pemilihan subyek dan obyek penelitian dan bagaimana penelitian akan dilakukan.

e. Bab V Implementasi

Pada bagian ini menjelaskan tentang proses implementasi dalam mencari model yang paling optimal dari studi kasus tugas akhir ini.

f. Bab VI Hasil dan Pembahasan

Pada bagian ini menjelaskan tentang proses implementasi dalam mencari model yang paling optimal dari studi kasus tugas akhir ini.

g. Bab VI Kesimpulan dan Saran

Pada bagian ini menjelaskan mengenai kesimpulan dari semua proses yang telah dilakukan dan saran yang dapat diberikan untuk pengembangan yang lebih baik kedepannya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bagian tinjauan pustaka ini, akan dijelaskan mengenai referensi-referensi yang terkait dalam penyusunan tugas akhir ini.

2.1. Penelitian Sebelumnya

Dalam penelitian ini, digunakan beberapa penelitian terdahulu sebagai pedoman dan referensi dalam melaksanakan proses - proses dalam pengerjaan tugas akhir, informasi yang disampaikan dalam Tabel 2.1 berisi informasi penelitian sebelumnya, hasil penelitian, dan hubungan penelitian terhadap tugas akhir

Tabel 2.1. Penelitian Sebelumnya

No	Penulis	Judul Penelitian	Metode	Hasil
1	Bahtiar S. Abbas, Wiwi Indriani	Optimasi Proses Produksi Untuk Produk Makanan Dengan Metode Integer Linear Programming (ILP) Pada PT PSA	Penulis membuat model optimasi menggunakan metode Integer Linear Programming dan melakukan uji coba model dan hasilnya menggunakan Software LINGO 11.0	Mengetahui bahwa metode Integer Linear Programming dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan penjadwalan produksi yang dilakukan pada PT PSA dengan fungsi tujuan adalah memaksimalkan profit yang didapat dari hasil penjualan produk.

No	Penulis	Judul Penelitian	Metode	Hasil
2	Elysa Fitriyani, Amril Aman, Farida Hanum	Optimasi Rute Penerbangan Menggunakan Integer Programming: Studi Kasus Di PT Citilink	Penulis mengonstruksi model dasar optimasi rute penerbangan dalam bentuk integer programming dengan fungsi objektif meminimumkan biaya operasional dengan menentukan rute penerbangan terlebih dahulu menggunakan jadwal yang telah disediakan dan menerapkannya pada suatu maskapai penerbangan yang ada di Indonesia dengan bantuan software LINGO 11.0	Mengetahui bahwa dengan menggunakan perangkat lunak LINGO 11.0 dan model yang sudah dirancang sebelumnya menggunakan metode Integer Linear Programming dihasilkan fungsi objektif sebesar Rp. 6.910.440.000 yang berarti biaya minimum yang diperlukan untuk melakukan penerbangan sesuai jadwal yang telah tersedia pada tanggal 12 Februari 2015 adalah sebesar Rp. 6.910.440.000 dan rute yang diperoleh agar biayanya minimum dengan menggunakan 23 pesawat
3	Agri Kridanto, Ahmad Saikhu, Rully Soelaiman	Penggunaan Integer Linear Programming dengan Metode Heuristik untuk Optimasi	Penulis menggunakan metode Integer Linear Programming untuk	- Mengetahui bahwa keseluruhan model yang telah dibangun dapat menyelesaikan permasalahan

No	Penulis	Judul Penelitian	Metode	Hasil
		Penjadwalan Paruh Waktu	memodelkan permasalahan penjadwalan pada restoran cepat saji yang melibatkan beberapa batasan seperti pekerja harus bekerja maksimal pada 5 hari kerja dalam seminggu dan pekerja minimal bekerja minimal 3 jam dan maksimal 8 jam pada hari kerja. Uji coba dilakukan dengan menggunakan aplikasi LINGO 11.0	penjadwalan paruh waktu dengan waktu komputasi yang cukup singkat. - Mengetahui bahwa model ILP dapat menghasilkan shift yang baik, dimana shift tersebut dapat memaksimalkan jumlah pegawai yang melaksanakannya sehingga shift tersebut dapat diberikan kepada pegawai yang tersedia.
4	Ryan Herwan Dwi Putra, Herry Sujiani, Novi Safriadi	Penerapan Metode Haversine Formula Pada Sistem Informasi Geografis Pengukuran Luas Tanah	Penulis menggunakan metode Haversine Formula untuk menghitung luas beberapa bidang tanah berbasis Sistem Informasi	- Mengetahu bahwa Haversine Formula tidak hanya bisa digunakan untuk menghitung panjang jarak antar 2 titik pada kordinat bumi, melainkan juga

No	Penulis	Judul Penelitian	Metode	Hasil
			Geografis menggunakan PHP	<p>dapat digunakan untuk menghitung luas permukaan suatu bangun datar.</p> <p>- Mendapatkan hasil uji perhitungan luas tanah jika menggunakan Haversine Formula dibandingkan dengan GPS terdapat selisih 4% karena terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi tingkat keakuratan perhitungan.</p>

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Optimasi

Optimasi merupakan merupakan proses memaksimalkan atau meminimasi suatu fungsi tujuan dengan tetap memperhatikan pembatas yang ada. Optimasi memegang peranan penting dalam mendesain suatu sistem. Dengan optimasi, suatu sistem dapat menghasilkan biaya yang lebih murah atau keuntungan yang lebih tinggi.

Optimasi dapat ditempuh dengan dua cara yaitu maksimisasi dan minimisasi. Maksimisasi adalah optimasi dengan menggunakan atau mengalokasikan input yang sudah ditentukan untuk mendapatkan keuntungan yang maksimal. Sedangkan minimisasi adalah optimasi dengan menggunakan atau mengalokasikan input yang sudah ditentukan untuk mendapatkan biaya yang paling minimal [6].

Optimasi dalam waktu sekarang memerlukan bantuan software untuk menyelesaikan permasalahan yang ditemukan untuk mendapatkan solusi yang optimal dengan waktu komputasi yang lebih singkat. Keberhasilan penerapan teknik optimasi paling tidak memerlukan tiga syarat, yaitu kemampuan membuat model matematika dari permasalahan yang dihadapi, pengetahuan akan program komputer dan pengetahuan akan teknik optimasi itu sendiri.

2.2.2. Integer Linear Programming

Linear Programming (LP) adalah suatu metode yang dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah optimasi model linear dengan keterbatasan-keterbatasan sumber daya yang tersedia. Secara umum bentuk model LP dapat digambarkan sebagai berikut [7].

$$\text{Max atau Min } Z = C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3 + \dots + C_nX_n$$

dengan batasan

$$A_{11}X_1 + A_{12}X_2 + A_{13}X_3 + \dots + A_{1n} X_n \leq B_1$$

.....(1)

$$A_{21}X_1 + A_{22}X_2 + A_{23}X_3 + \dots + A_{2n} X_n \leq B_2$$

.....(2)

$$A_{m1}X_1 + A_{m2}X_2 + A_{m3}X_3 + \dots + A_{mn} X_n \leq B_1$$

.....(3)

Untuk nilai $X_1, X_2, \dots, X_n \geq 0$.

Karena persoalan ini merupakan masalah alokasi, maka perumusan diatas dapat diinterpretasikan sebagai berikut :

- a. Variabel keputusan (**decision variables**): X_1, X_2, \dots, X_n adalah variabel yang nilai-nilainya dipilih untuk dibuat keputusan.
- b. Fungsi tujuan (**objective function**): $Z = F(X_1, X_2, \dots, X_n)$ adalah fungsi yang akan mengoptimalkan (memaksimumkan atau meminimumkan).
- c. Pembatasan (**constraints**): $G_i (X_1, X_2, \dots, X_n) \leq B_s$ adalah pembatasan-pembatasan yang harus dipenuhi.

Pada masalah LP penyelesaian optimalnya merupakan bilangan real yang bisa berupa bilangan pecahan. Pembulatan ke integer terdekat bisa menyebabkan nilai optimalnya menyimpang dari nilai yang diharapkan. Padahal permasalahan di kehidupan nyata sering kali memerlukan penyelesaian dengan variabel keputusan berupa integer. Dengan model penyelesaian berupa variabel integer diharapkan dapat memberikan penyelesaian yang optimal.

Integer Linear Programming (ILP) atau Program Integer merupakan pengembangan dari LP. Program Integer (integer linear programming/ILP) pada intinya berkaitan dengan program-program linier dimana beberapa atau semua variabel memiliki nilai-nilai integer (bulat) atau diskrit. Sebuah ILP dikatakan bersifat campuran atau murni bergantung pada apakah beberapa atau semua variabel tersebut dibatasi pada

nilai-nilai integer. Jika hanya sebagian variabel keputusannya merupakan integer maka disebut integer programming campuran (mixed integer programming), sedangkan jika semua variabel keputusannya bernilai integer disebut integer programming murni (pure integer programming) [7].

Bentuk umum model Program Integer adalah:

$$\text{Max(min)} Z = \sum c_j X_j$$

Kendala

$$\sum a_{ij} X_j (\leq, =, \geq) B_i,$$

$$(i = 1, 2, \dots, m),$$

$$X_j \geq 0, (j = 1, 2, \dots, m),$$

X_j bernilai integer untuk beberapa atau semua j .

Bentuk umum model Program Integer 0-1 adalah:

$$\text{Max (min)} Z = \sum c_j X_j$$

Kendala

$$\sum a_{ij} X_j (_, =, _) B_i,$$

$$(i = 1, 2, \dots, m),$$

$$X_j = 0 \text{ atau } X_j = 1, (j = 1, 2, \dots, n).$$

2.2.3. Global System for Mobile Communication (GSM)

Global System for Mobile Communication disingkat GSM adalah sebuah teknologi komunikasi selular bersifat digital yang pertama kali muncul pada tahun 1982 di Eropa. Teknologi GSM banyak diterapkan pada komunikasi bergerak, khususnya telepon genggam. Teknologi ini memanfaatkan gelombang mikro dan pengiriman sinyal yang dibagi berdasarkan waktu,

sehingga sinyal informasi yang dikirim akan sampai pada tujuan. GSM dijadikan standar global untuk komunikasi selular sekaligus sebagai teknologi selular yang paling banyak digunakan orang di seluruh dunia. GSM juga sering disebut sebagai teknologi jaringan komunikasi generasi kedua (2G). GSM bekerja pada frekuensi 900 - 1800 Mhz [8].

Sistem telepon seluler membagi suatu wilayah menjadi beberapa sel - sel kecil. GSM adalah jaringan seluler, yang artinya bahwa telepon seluler bisa terkoneksi dengan mencari sel - sel disekitarnya yang berdekatan. Ada beberapa keuntungan dari penggunaan jaringan seluler, diantaranya yaitu peningkatan kapasitas, penurunan penggunaan daya listrik, dan jangkauan area yang lebih luas. Sistem selular ini memungkinkan penggunaan frekuensi ulang pada wilayah yang lain, sehingga jutaan orang dapat melakukan komunikasi secara bersamaan.

Ada beberapa macam ukuran sel pada jaringan GSM, yaitu Macro, Micro, Pico, dan Umbrella. Area cakupan masing - masing sel bervariasi tergantung dari implementasi terhadap daerah yang dicakupinya masing - masing. Sel Macro bisa ditemui ketika antenna BTS dipasang pada menara yang cukup tinggi dimana jangkauannya antara radius 5 - 35 km. Sel Micro adalah sel yang tinggi antennanya lebih rendah dari sel Macro dan jangkauannya tidak lebih dari radius 2km. Sel Pico adalah sel yang lebih kecil dan jangkauannya hanya sekitar radius 200 - 500 m. Sel Umbrella biasanya digunakan untuk menjangkau sel - sel kecil dan mengisi kekosongan antara sel tersebut [9].

2.2.4. Arsitektur Jaringan GSM

Pada dasarnya sistem GSM dirancang sebagai kombinasi dari 3 subsistem utama: Subsistem Jaringan (*Network Subsystem*), Subsistem Radio (*Radio Subsystem*) dan Subsistem yang mendukung operasional. Secara umum, network element dalam arsitektur jaringan GSM dapat dibagi menjadi [10]:

1. Mobile Station (MS)

Mobile Station atau MS merupakan perangkat yang digunakan oleh pelanggan untuk melakukan pembicaraan yaitu berupa ponsel atau perangkat yang digunakan komunikasi serta Subscriber Identity Module (SIM) atau SIM Card.

2. Base Station Sub-system (BSS)

Base Station System atau BSS, terdiri atas:

- Base Transceiver Station (BTS), perangkat GSM yang berhubungan langsung dengan MS dan berfungsi sebagai pengirim dan penerima sinyal.
- Base Station Controller (BSC), perangkat yang mengontrol kerja BTS-BTS yang berada di bawahnya dan sebagai penghubung BTS dan MSC.

3. Network Sub-system (NS)

Network Sub System atau NSS, terdiri atas:

- Mobile Switching Center (MSC), merupakan sebuah network element central dalam sebuah jaringan GSM. MSC sebagai inti dari jaringan seluler, dimana MSC berperan untuk interkoneksi hubungan pembicaraan, baik antar selular maupun dengan jaringan kabel PSTN, ataupun dengan jaringan data.
- Home Location Register (HLR), yang berfungsi sebagai sebuah database untuk menyimpan semua data dan informasi mengenai pelanggan agar tersimpan secara permanen.
- Visitor Location Register (VLR), yang berfungsi untuk menyimpan data dan informasi pelanggan.

- Authentication Center (AuC), yang diperlukan untuk menyimpan semua data yang dibutuhkan untuk memeriksa keabsahaan pelanggan. Sehingga pembicaraan pelanggan yang tidak sah dapat dihindarkan.
 - Equipment Identity Registration (EIR), yang memuat data-data pelanggan.
4. Operation and Support System (OSS)
Operation and Support System (OSS) merupakan sub sistem jaringan GSM yang berfungsi sebagai pusat pengendalian informasi.

2.2.5. Base Transceiver Station (BTS)

Base Transceiver Station (BTS) merupakan bagian dari komponen jaringan (*network element*) sistem komunikasi yang berfungsi untuk mengirim dan menerima sinyal agar dapat memfasilitasi komunikasi nirkabel antara perangkat komunikasi dan jaringan operator. Perangkat komunikasi dari penerima sinyal BTS dapat berupa telepon, telepon selular, dan jaringan nirkabel. Sedangkan operator jaringannya yaitu berupa GSM dan CDMA [11]. BTS mengirim dan menerima sinyal radio ke perangkat mobile dan mengkonversi sinyal tersebut menjadi sinyal digital untuk selanjutnya diteruskan ke terminal lainnya agar perangkat dapat berkomunikasi satu sama lain [12]. Pada umumnya sebuah Tower BTS memiliki ketinggian 40 - 75m di atas permukaan tanah. [13].

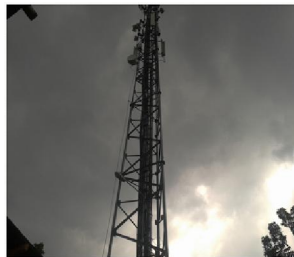


Gambar 2.1. Base Transceiver Station (Source: Wikipedia)

Base Transceiver Station (BTS) sendiri tersusun atas beberapa komponen yang mendukung agar BTS tersebut dapat berfungsi sebagaimana semestinya. Komponen pendukungnya antara lain [13] :

1) Menara

Menara yang tersusun atas rangkaian besi berbentuk segi tiga atau segi empat yang fungsinya adalah untuk menempatkan antena dan radio pemancar maupun penerima gelombang telekomunikasi dan informasi.



Gambar 2.2. Tower BTS (Source: Google Images)

Ada beberapa komponen yang terdapat pada Tower BTS, diantaranya :

- Antena Sektoral

Komponen pada Tower BTS yang berfungsi sebagai pelepas energi elektromagnetik di udara serta sebagai penerima dan penangkap energi gelombang elektromagnetik diudara.



Gambar 2.3. Antena Sektoral (Source: Google Images)

- Antena Microwave

Komponen pada Tower BTS yang berfungsi sebagai sistem pemancar dan penerima gelombang mikro yang berfrekuensi sangat tinggi untuk komunikasi antar satu BTS dengan BTS lain.



Gambar 2.4. Antena Microwave (Source: Google Images)

- **Penangkal petir**

Perangkat yang di pasang pada bagian paling atas dari Tower yang fungsi untuk meneruskan alus listrik dari petir yang menyambar untuk selanjutnya diteruskan ke permukaan bumi tanpa merusak komponen lain yang dilewatinya.

- **Lampu**

Perangkat yang di pasang di sekitar Tower yang fungsinya untuk memberikan penerangan disekitar lingkungan BTS.

2) *BTS Shelter*

Suatu tempat yang digunakan untuk menampung perangkat - perangkat komunikasi agar BTS dapat berfungsi dengan baik. Letak dari Shelter BTS itu sendiri biasanya tidak akan jauh dari Tower karena keduanya berhubungan satu sama lain.



Gambar 2.5. Shelter BTS (Source: Google Images)

Ada beberapa komponen yang terdapat pada Shelter BTS, diantaranya :

- Transmission

Perangkat yang terdapat di dalam Shelter BTS yang fungsinya untuk mengatur slot traffic data pada BTS.

- Rectifier

Perangkat yang terdapat di dalam Shelter BTS yang fungsinya untuk menstabilkan tegangan arus listrik yang berasal dari PLN untuk memenuhi kebutuhan listrik dari BTS.

- Air Conditioner (AC)

Perangkat yang terdapat di dalam Shelter BTS yang fungsinya untuk mengatur sirkulasi suhu dan kelembaban udara serta menjaga kondisi ruang Shelter agar dingin.

- *Power Distributor Board (PDB)*

Perangkat yang terdapat di dalam Shelter BTS berbentuk kotak yang fungsinya untuk menempatkan saklar - saklar power dari setiap perangkat yang ada di Shelter.

- *Grounding*

Perangkat terdapat di dekat Shelter yang fungsinya untuk mengurangi dan mengantisipasi bahaya yang disebabkan oleh listrik bertegangan tinggi yang disebabkan oleh petir.

TRx (*Transmitter and Receiver*) bertanggung jawab untuk transmisi dan penerima sinyal radio. Untuk menghitung kapasitas suatu BTS dalam melayani pelanggan, maka kita harus memperhatikan berapa jumlah sektornya. Pada umumnya suatu BTS menggunakan 3 buah antena sectoral. 1 sector BTS dapat menyediakan hingga 4 TRx, setiap TRx dapat menangani hingga 8 kanal (*Timeslot*), masing - masing kanal ini akan diduduki oleh satu panggilan/pembicaraan oleh pelanggan. Jika

konfigurasi yang digunakan oleh BTS adalah 4x4x4, maka tiap sector di isi dengan 4 TRx sehingga perhitungannya bisa dilakukan seperti berikut ini [14] :

1 Sector terdiri atas 4 TRx

1 TRx = 8 timeslot

4 TRx = 32 timeslot

Dimana setiap sector membutuhkan 1 kanal BCCH (*Broadcast Control Channel*) dan 1 kanal SDCCCH (*Standalone Dedicated Control Channel*) yang berguna dalam broadcast sinyal dan juga mengatur panggilan setiap pelanggan. 1 sector yang terdiri atas 4 TRx mampu melayani $32 - 2 = 30$ panggilan dalam waktu bersamaan (secara teoritis). Sehingga kapasitas 1 BTS dengan 3 antenna sectoral yang didukung 4 TRx per antenna adalah $30 \times 3 = 90$ kanal pembicaraan.

2.2.6. *Haversine Formula*

Haversine Formula merupakan sebuah tools atau metode yang biasa digunakan untuk menghitung dan mengukur jarak antara titik di permukaan bumi menggunakan garis lintang (longitude) dan garis bujur (latitude) sebagai variable masukannya. Rumus Haversine dipublikasikan oleh Roger Sinnott pada majalah Sky & Telescope pada tahun 1984 ("Virtues of the Haversine"). Haversine Formula memberikan jarak lingkaran besar antara dua titik pada permukaan bola (bumi) berdasarkan lintang dan bujur [18] . Formulanya adalah sebagai berikut :

$$a = \sin^2(\Delta\phi/2) + \cos \phi_1 \cdot \cos \phi_2 \cdot \sin^2(\Delta\lambda/2)$$

$$\text{Haversine } c = 2 \cdot \text{atan2}(\sqrt{a}, \sqrt{1-a})$$

$$\text{formula: } d = R \cdot c$$

Di mana:

ϕ = latitude,

λ = longitude

R = radius bumi (radius = 6,371 km)

Dengan sebagai jari – jari kelengkungan bumi yang bernilai 6.371 km, ϕ sebagai latitude dan λ sebagai longitude. Latitude adalah kordinat yang menyatakan posisi suatu tempat berada di utara atau selatan ekuator. Sementara longitude adalah koordinat yang menyatakan posisi suatu tempat berada di timur atau barat garis Greenwich. Ketika latitude dinyatakan dalam derajat, bila angkanya positif artinya tempat itu ada di belahan bumi utara (bujur utara) sedangkan bila angkanya negatif artinya tempat itu ada di belahan bumi selatan (bujur selatan). Ketika longitude dinyatakan dalam derajat, bila angkanya positif artinya tempat itu ada di belahan bumi timur (bujur timur) sedangkan bila angkanya negatif artinya tempat itu ada di belahan bumi barat (bujur barat).

Metode Haversine Formula tersebut kini sudah mengalami pengembangan, yaitu dengan menggunakan rumus spherical law of cosine (turunan dari spherical trigonometry), dimana dengan penghitungan komputer dapat memberikan tingkat presisi yang sangat akurat antar dua titik yang dijabarkan dalam rumus sebagai berikut [19].:

$$\begin{array}{ll} \text{Law of} & d = \text{acos}(\sin \phi_1 \cdot \sin \phi_2 + \cos \phi_1 \cdot \cos \phi_2 \cdot \\ \text{cosines:} & \cos \Delta\lambda) \cdot R \end{array}$$

Di mana:

ϕ = latitude,

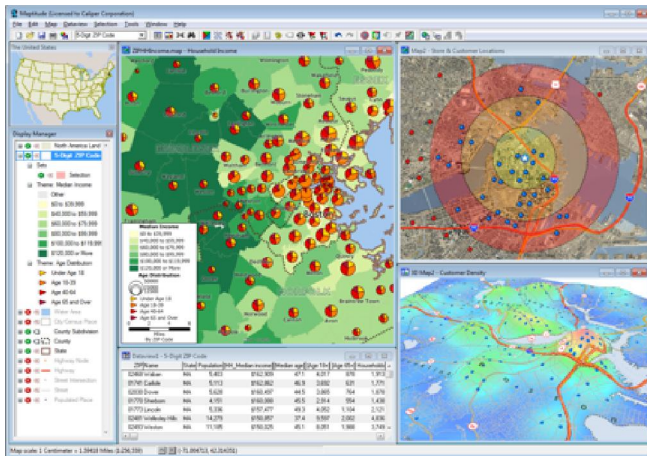
λ = longitude,

R = radius bumi (radius = 6,371 km)

2.2.7. *Geographic Information System (GIS)*

GIS adalah sistem berbasis komputer yang memiliki kemampuan dalam menangani data berbasis geografi yaitu pemasukan data (input), manajemen, pengolahan dan analisis data (process), serta menampilkan keluaran sebagai hasil akhir (output) untuk mendukung pengambilan keputusan [15].

Teknologi GIS mengintegrasikan operasi pengolahan data berbasis database yang biasa digunakan saat ini, seperti pengambilan data berdasarkan kebutuhan, serta analisis statistik dengan menggunakan visualisasi yang khas serta berbagai keuntungan yang mampu ditawarkan melalui analisis geografis melalui gambar pada peta. GIS merupakan suatu kajian ilmu dan teknologi yang relatif baru, digunakan oleh berbagai bidang disiplin ilmu, dan berkembang dengan sangat cepat. Berdasarkan definisi yang ada, diambil sebuah definisi yang dapat mewakili GIS secara umum, yaitu sistem informasi yang digunakan untuk memasukkan, menyimpan, memanggil kembali, mengolah, menganalisa dan menghasilkan data berbasis geografi untuk mendukung pengambilan keputusan dalam perencanaan dan pengolahan informasi [16]



Gambar 2.6. Contoh software GIS berbasis desktop (Source: Caliper)

BAB III

METODOLOGI TUGAS AKHIR

Pada bab metode penelitian akan dijelaskan mengenai tahapan – tahapan apa saja yang dilakukan dalam pengerjaan tugas akhir ini beserta deskripsi dan penjelasan tiap tahapan tersebut. Lalu disertakan jadwal pengerjaan tiap tahapanan.

3.1. Diagram Metodologi

Pada sub bab ini akan menjelaskan mengenai metodologi pengerjaan dalam pelaksanaan tugas akhir. Metodologi pengerjaan tugas akhir berisikan alur dan langkah dari pengerjaan Tugas Akhir. Metodologi pengerjaan tugas akhir dapat dilihat pada Tabel 3.1 :

Tabel 3.1. Diagram Metodologi Pelaksanaan Tugas Akhir

Tahapan	Proses
Tahap 1. Inisialisasi	<div>Identifikasi Permasalahan</div> <div>↓</div> <div>Studi Literatur</div> <div>↓</div> <div>Pengumpulan Data</div> <div>↓</div>
Tahap 2. Perancangan dan Implementasi	<div>Pembuatan Model Optimasi</div> <div>↓</div> <div>Perancangan <i>Use Case Diagram</i></div> <div>↓</div> <div>Pengembangan Aplikasi</div>
Tahap 3. Analisa	<div>Analisa Hasil dan Penarikan Kesimpulan</div> <div>↓</div> <div>Penyusunan buku TA</div>

3.2. Uraian Metodologi

Berdasarkan pada diagram alur metodologi pada sub bab sebelumnya, di bawah ini merupakan penjelasan dari setiap prosesnya.

3.2.1. Identifikasi Permasalahan

Pada tahap pertama ini sebagai langkah awal dalam pengerjaan tugas akhir, maka masalah yang ingin diselesaikan/diteliti harus diidentifikasi secara jelas untuk menghindari kerancuan yang dapat timbul. Hal - hal yang perlu dilakukan antara lain adalah merumuskan masalah, menentukan tujuan pengerjaan tugas akhir, menentukan batasan - batasan masalah pada penelitian ini.

3.2.2. Studi Literatur

Tahap studi literatur merupakan tahap kedua dari pengerjaan tugas akhir. Pada tahapan ini dilakukan pengkajian terhadap permasalahan yang akan diangkat, rumusan masalah, tujuan dan manfaat dari penelitian yang dilakukan. Selain itu, pada tahapan ini dilakukan berbagai kajian pustaka mengenai konsep optimasi serta metode yang akan digunakan dalam menyelesaikan permasalahan pada tugas akhir. Studi literatur tersebut kemudian digunakan sebagai landasan teori atau acuan dalam pengerjaan tugas akhir mengenai konsep optimasi, Integer Linear Programming, dan Sistem Informasi Geografis.

3.2.3. Pengumpulan Data

Pada tahap ini, akan dilakukan pengumpulan data untuk pengerjaan tugas akhir. Data yang digunakan adalah data yang didapat dari PT. Telkomsel Regional Jawa Tengah & DIY - Semarang terkait Data Laporan BTS untuk area di Jawa Tengah dan sekitarnya dalam bentuk file Microsoft Excel. Adapun beberapa data pendukung yang didapat melalui wawancara yang dilakukan dengan pembimbing lapangan di PT. Telkomsel

Regional Jawa Tengah & DIY - Semarang pada saat kerja praktik di perusahaan terkait.

3.2.4. Pembuatan Model Optimasi

Pada tahap ini, akan dibuat model matematis menggunakan bentuk model linear programming dengan tujuan agar mempermudah pada saat proses optimasi. Tahap pertama dalam pembuatan model optimasi adalah penentuan variabel keputusan (*decision variable*) yang akan jadi model.

Jenis BTS yang digunakan ada 2, Macrocell dan Microcell. Sehingga variabel keputusannya ditentukan berdasarkan tipe BTS yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Variabel keputusan 1 : BTS tipe Microcell
- Variable keputusan 2 : BTS tipe Macrocell

Dalam pengerjaan tugas akhir ini, fungsi tujuan yang ingin dicapai adalah sebagai berikut :

- Fungsi tujuan : Memaksimumkan jangkauan dari BTS agar setiap area dapat cakupan dari jaringan sinyal oleh menara BTS.

Dengan kendala atau batasan sebagai berikut :

- Batasan 1 : Luas area dari cakupan BTS harus lebih besar atau sama dengan dari target potensial area yang sudah ditentukan sebelumnya oleh user.
- Batasan 2 : Kapasitas kanal (*timeslot*) untuk setiap BTS harus lebih besar atau sama dengan dari minimal kanal tersedia yang sudah ditentukan sebelumnya oleh user.
- Batasan 3 : Biaya yang dikeluarkan untuk pembangunan BTS tidak lebih atau kurang dari sama dengan dari alokasi biaya yang sudah ditentukan sebelumnya oleh user.

3.2.5. Perancangan Use Case Diagram

Pada tahap ini, sebelum masuk dalam proses pengembangan aplikasi. Akan dibuat *use case diagram* terlebih dahulu, tujuannya adalah agar mempermudah menentukan fungsi dan fitur apa saja yang terdapat pada aplikasi yang akan dikembangkan selanjutnya.

3.2.6. Pengembangan Aplikasi

Pada tahap ini, akan dilakukan proses pengembangan aplikasi yang merupakan kelanjutan dari tahap pembuatan model optimasi yang sudah dilakukan sebelumnya. Tahapan pengembangan adalah sebagai berikut.

1. Mendesain dan membuat tampilan UI (*User Interface*) dari aplikasi pada SIG menggunakan bahasa pemrograman berbasis web (HTML5, CSS3 dan Javascript). Tujuannya adalah agar mempermudah dalam proses pengerjaan dengan membangun kerangka desain dari aplikasi terlebih dahulu.
2. Mengimplementasikan model optimasi yang telah dibuat sebelumnya ke dalam aplikasi SIG. Setelah data lokasi BTS di petakan pada aplikasi SIG, selanjutnya akan dilakukan proses logical coding dengan mengkonversi bentuk model dengan penyelesaiannya dalam bentuk Javascript dan PHP dalam aplikasi GIS.

3.2.7. Analisa Hasil dan Penarikan Kesimpulan

Pada tahap ini, akan dilakukan penarikan kesimpulan berdasarkan analisis hasil keluaran dari penelitian yang dilakukan. Pada tahapan ini pula dapat diketahui bagaimana penentuan jumlah BTS optimal yang perlu di bangun oleh PT. Telkomsel Reg. Jawa Tengah & DIY Semarang menurut model dan aplikasi yang telah dikembangkan pada penelitian ini.

3.2.8. Penyusunan buku Tugas Akhir

Tahapan terakhir adalah dilakukan penyusunan laporan tugas akhir yang berisi tentang dokumentasi dan langkah-langkah pengerjaan dari tugas akhir.

BAB IV PERANCANGAN

Pada bab ini akan dijelaskan bagaimana rancangan dari penelitian tugas akhir yang meliputi subyek dan obyek dari penelitian, pemilihan subyek dan obyek penelitian dan bagaimana penelitian akan dilakukan.

4.1. Pengumpulan Data

Pada tahapan ini dilakukan pengumpulan data yang dibutuhkan dalam pengerjaan tugas akhir. Proses pengumpulan data dilakukan dengan melakukan permohonan permintaan data ke perusahaan terkait yaitu PT. Telekomunikasi Seluler (Telkomsel) Divisi *Service Quality Assurance* Regional Jawa Tengah & DIY - Semarang. Dari proses tersebut didapatkan beberapa data sebagai berikut.

4.1.1. Data Pemetaan Lokasi BTS

Pada Tabel 4.1. merupakan Data BTS pada *Sheet 1* yang didapatkan dari PT. Telekomunikasi Seluler (Telkomsel) Divisi *Service Quality Assurance* Regional Jawa Tengah & DIY - Semarang terkait Data BTS yang di ambil pada Juni 2016 dalam bentuk file *Microsoft Excel (*.xlsx)* dengan jumlah 3 *Sheet* dalamnya.

Data yang ditampilkan pada Tabel 4.1. hanya sebagian dari total keseluruhan data yang berjumlah 100 baris. Untuk data lengkapnya dapat dilihat pada bagian Lampiran.

Tabel 4.1. Data Pemetaan Lokasi BTS

No	Site ID	Site Name	Latitude	Longitude	...
1	4723-24361	Asemrundung	-7,19392	111,00012	...
2	4691-24371	Baleharjo Sragen	-7,2857	110,97778	...
3	4630-45851	Balong Jenawi	-7,556277778	111,1232222	...
4	4617-40262	Balongrejo	-7,01936	111,38622	...
5	4609-25165	Balun Blora	-7,16091	111,58572	...
6	4606-61422	Bandungsari Wirosari	-7,04984	111,15161	...
7	4693-61433	Bangkleyan Jati	-7,27469	111,25642	...
...

Pada Tabel 4.2 dapat dilihat bahwa data yang didapat terdiri dari beberapa kolom, dan data yang digunakan akan dipilah-pilih terlebih dahulu sehingga tidak semuanya akan digunakan dalam penelitian ini, tujuannya adalah untuk menyesuaikan dengan penelitian yang akan dilakukan dan tidak mempersulit pengerjaan. Dari total keseluruhan data yang di dapat, data yang akan digunakan pada penelitian ini hanya meliputi : *site_name*, *latitude*, *longitude*, *type*, dan tambahan satu kolom yaitu *power_radius* yang didapat dari hasil wawancara terkait jangkuan rata-rata untuk setiap BTS.

Total data yang digunakan berjumlah 100 baris yang akan di ubah kedalam format *CSV*. Tujuan mengubah data dalam bentuk *CSV* adalah agar mempermudah dalam penelitian yang akan dilakukan. Data pada Tabel 4.2 merupakan data yang sudah di-*filter* dan di ubah ke dalam format *CSV* yang nantinya akan dijadikan sebagai input dari aplikasi GIS yang akan dikembangkan selanjutnya.

Data tersebut akan digunakan sebagai *input* data terkait visualisasi dari pemetaan lokasi BTS berdasarkan kordinat

latitude dan *longitude* untuk setiap BTS ke dalam aplikasi GIS. Data yang ditampilkan pada Tabel 4.2. hanya sebagian dari total keseluruhan data yang berjumlah 100 baris. Untuk data lengkapnya dapat dilihat pada bagian Lampiran.

Tabel 4.2. Data Pemetaan Lokasi BTS dalam bentuk CSV

Name	Type	Power Radius	Lat	Long
Asemrundung	2G	5	-7.19392	111.00012
Baleharjo Sragen	2G	5	-7.2857	110.97778
Balong Jenawi	2G	5	-7.556277778	111.1232222
Balongrejo	2G	5	-7.01936	111.38622
...

4.1.2. Data Estimasi Biaya Pembangunan BTS

Pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 merupakan Data BTS pada *Sheet 2* terkait analisa biaya yang dikeluarkan saat melakukan pembangunan BTS. Berdasarkan keterangan dari data yang diberikan, khusus untuk BTS tipe *Macrocell* menggunakan *SST Tower* dan BTS tipe *Microcell* menggunakan *Monopole Tower* dengan rincian biaya yang dikeluarkan sesuai dengan tabel dibawah ini.

Data pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 disini akan dijadikan sebagai acuan dari pembuatan model optimasi pada tahap selanjutnya.

Tabel 4.3. Data Estimasi Biaya Pembangunan BTS Macrocell (SST-4 Leg).

Keterangan	Biaya / Satuan	Nilai	Total Biaya
Module and Antenna Cost	Rp 8.178.000 / set	1 set	Rp 8.178.000
Tower Cost (m)	Rp. 3.870.000 / m	62 meter	Rp 239.940.000
Civil Mechanical Electrical (CME) Cost	Rp 19.000.000 / config	1 config / site	Rp 19.000.000
Site Acquisition (SITAC) Cost	Rp 20.000.000 / thn	5 tahun	Rp 100.000.000
Power & Maintenance Cost	Rp 6.000.000 / bulan	5 tahun	Rp 360.000.000
Total			Rp 727.118.000

Tabel 4.4. Data Estimasi Biaya Pembangunan BTS Microcell (Monopole).

Keterangan	Biaya / Satuan	Nilai	Total Baiaya
Module and Antenna Cost	Rp 6.133.000 / set	1 set	Rp 6.133.000
Tower Cost (m)	Rp. 4.180.000 / m	20 meter	Rp 83.600.000
Civil Mechanical Electrical (CME) Cost	Rp 19.000.000 / config	1 config / site	Rp 19.000.000
Site Acquisition (SITAC) Cost	Rp 12.000.000 / thn	5 tahun	Rp 60.000.000
Power & Maintenance Cost	Rp 4.000.000 / bulan	5 tahun	Rp 240.000.000
Total			Rp 408.733.000

4.1.3. Data Antenna Sectoral

Untuk BTS tipe *Macrocell* memiliki cakupan luas area yang lebih besar jika dibandingkan dengan BTS tipe *Microcell* dikarenakan tinggi menara dan power antena yang digunakan berbeda. Untuk BTS tipe *Microcell* meskipun jangkauannya lebih sedikit dari BTS tipe *Macrocell*, tetapi memiliki kapasitas atau trafik yang lebih besar jika dibandingkan dengan BTS tipe *Macrocell* karena memang jumlah antena sector yang digunakan lebih banyak dan BTS tipe *Microcell* sendiri ditujukan untuk mobilitas yang lebih tinggi bagi pengguna sehingga kapasitasnya jauh lebih besar.

Untuk perhitungan terkait kapasitas *timeslot* (kanal) suatu BTS dalam melayani pelanggan, harus memperhatikan berapa jumlah sektor yang digunakan. Pada umumnya suatu BTS tipe *Macrocell* menggunakan 3 buah antena sectoral, sedangkan BTS tipe *Microcell* menggunakan 4 buah antena sectoral. Dimana 1 sector BTS dapat menyediakan hingga 4 TRx, dan setiap TRx dapat menangani hingga 8 kanal (*Timeslot*), masing - masing kanal ini akan diduduki oleh satu panggilan/pembicaraan oleh pelanggan. Jika konfigurasi yang digunakan oleh BTS adalah 4x4x4, maka tiap sector di isi dengan 4 TRx sehingga perhitungannya bisa dilakukan seperti berikut ini:

1 Sector terdiri atas 4 TRx

1 TRx = 8 timeslot

4 TRx = 32 timeslot

Dimana setiap sector membutuhkan 1 kanal BCCH (*Broadcast Control Channel*) dan 1 kanal SDCCH (*Standalone Dedicated Control Channel*) yang berguna dalam broadcast sinyal dan juga mengatur panggilan setiap pelanggan. 1 sector yang terdiri atas 4 TRx mampu melayani $32 - 2 = 30$ panggilan dalam waktu bersamaan. Sehingga :

- 1 BTS tipe *Microcell* dengan jumlah antenna sector 4 dapat menyediakan hingga $30 \times 4 = 120$ kanal pembicaraan
- 1 BTS tipe *Macrocell* dengan jumlah antenna sector 3 dapat menyediakan hingga $30 \times 3 = 90$ kanal pembicaraan

Pada Tabel 4.5 merupakan Data BTS pada *Sheet 3* terkait kapasitas dan cakupan area serta kapasitas antenna dari setiap tipe BTS. Dari data tersebut juga akan digunakan sebagai acuan penentuan nilai dalam proses pembuatan model optimasi pada tahap selanjutnya.

Tabel 4.5. Data Antenna Sectoral

Type	Microcell	Macrocell
Number of Trx/sectors	4	4
Number of Sectors	4	3
<i>Timeslot</i> Available/Trx	30	30
Total <i>Timeslot</i> Available	120	90
Average of Antenna Power Radius (km)	2	5
Area Coverage (km ²)	12,56	78,50
Average Antenna Gain Power	16.1 - 17.1 dBi	19.4 - 20.3 dBi
Weight	1.1 kg	5.9 kg

Setelah semua data dipersiapkan, maka data yang sudah diubah kedalam bentuk *CSV* seperti pada Tabel 4.2 akan digunakan untuk pemetaan lokasi BTS pada aplikasi GIS (*plotting point*) dan data pada *Sheet 2* (Tabel 4.3 & Tabel 4.4) dan *Sheet 3* (Tabel 4.5) yang akan digunakan sebagai acuan penentuan nilai untuk proses pembuatan model optimasi dengan menggunakan metode *Integer Linear Programming* di tahap selanjutnya.

4.2. Proses Pembuatan Model Optimasi

Dalam tugas akhir ini, metode *Integer Linear Programming* akan digunakan untuk membuat model yang sesuai dengan tujuan dari penelitian. Pada tahapan ini terdapat tiga langkah, yaitu :

4.2.1. Penentuan Variabel Keputusan (*Decision Variable*)

Pada penelitian ini, permasalahan yang akan diselesaikan adalah dalam penentuan jumlah BTS tipe *Macrocell* dan *Microcell* yang harus dibangun agar optimal dan sesuai dengan sasaran dan tujuan dari perusahaan. Oleh karena itu, variable keputusannya adalah jumlah BTS tipe *Macrocell* dan jumlah BTS tipe *Microcell* yang akan dibangun. Berikut adalah variable keputusan yang digunakan dalam penelitian ini.

x_1 = jumlah BTS tipe *Microcell*

x_2 = jumlah BTS tipe *Macrocell*

4.2.2. Penentuan Fungsi Tujuan (*Objective Function*)

Penulisan model matematis menggunakan bentuk model *linear programming*. Dalam Tugas Akhir ini terdapat fungsi tujuan yang ingin dicapai adalah sebagai berikut.

Fungsi tujuan : Memaksimumkan jangkauan dari BTS agar setiap area dapat cakupan dari jaringan sinyal oleh menara BTS.

$$\text{Max } Z = ax_1 + ax_2$$

Dimana,

a = nilai konstanta untuk setiap variabel

x_1 = jumlah BTS tipe *Microcell*

x_2 = jumlah BTS tipe *Macrocell*

Dengan fungsi tujuan yaitu memaksimumkan jangkauan dari BTS. Dan berdasarkan data pada *Sheet 3* (Tabel 4.1.5) dimana jangkauan maksimum untuk tipe BTS *Microcell* adalah 12.56 km² dan BTS tipe *Macrocell* adalah 78.5 km². Sehingga dapat dituliskan fungsi tujuannya adalah sebagai berikut :

$$\text{Max } Z = 12.56x_1 + 78.5x_2$$

4.2.3. Penentuan Kendala atau Batasan (*Constraints*)

Pada penelitian ini, batasan yang terdapat dalam model adalah sebagai berikut.

Batasan 1 : Luas area dari cakupan BTS harus lebih besar sama dengan dari target potensial area yang sudah ditentukan sebelumnya oleh user.

$$ax_1 + ax_2 \geq lpa$$

Dimana,

lpa = estimasi luas potensial area yang di tentukan kan oleh *user*

Dan berdasarkan data pada *Sheet 3* (Gambar 4.1.5) dimana jangkauan maksimum untuk tipe BTS *Microcell* adalah 12.56 km² dan BTS tipe *Macrocell* adalah 78.5 km². Sehingga dapat dituliskan Batasan 1 adalah sebagai berikut :

$$12.56x_1 + 78.5x_2 \geq lpa$$

Batasan 2 : Kapasitas *timeslot* (kanal) untuk setiap BTS harus lebih besar atau sama dengan minimal kanal tersedia yang sudah ditentukan sebelumnya oleh user.

$$ax_1 + ax_2 \geq kt$$

Dimana,

kt = estimasi kapasitas *timeslot* (kanal) yang di tentukan kan oleh *user*

Dan berdasarkan data pada *Sheet 3* (Tabel 4.1.5) dimana kapasitas untuk tipe BTS *Microcell* adalah 120 *timeslot* dan BTS tipe *Macrocell* adalah 90 *timeslot*. Sehingga dapat dituliskan Batasan 2 adalah sebagai berikut :

$$120x_1 + 90x_2 \geq kt$$

Batasan 3 : Biaya yang dikeluarkan untuk pembangunan BTS tidak lebih atau kurang dari sama dengan dari alokasi biaya yang sudah ditentukan sebelumnya oleh *user*

$$ax_1 + ax_2 \leq eb$$

Dimana,

eb = estimasi biaya yang di tentukan kan oleh *user*

Dan berdasarkan data pada *Sheet 2* (Tabel 4.1.3 dan Tabel 4.1.4) dimana estimasi biaya pembangunan yang dikeluarkan untuk tipe BTS *Microcell* adalah Rp. 408.733.000,- dan BTS tipe *Macrocell* adalah Rp. 727.118.000,-. Kemudian, hasil akan dibulatkan keatas dan dihilangkan 6 digit terkahir agar mempersingkat penulisan model. Sehingga dapat dituliskan Batasan 3 adalah sebagai berikut :

$$409x_1 + 728x_2 \leq eb$$

Batasan 4 : Batasan *non-negative* untuk setiap variabel keputusan

$$x_1, x_2 \geq 0$$

Dari proses pembuatan model yang telah dilakukan, sehingga di dapatlah model optimasi sebagai berikut :

Variabel Keputusan :

x_1 = jumlah BTS tipe *Microcell*

x_2 = jumlah BTS tipe *Macrocell*

Fungsi Tujuan :

$$\text{Max } Z = 12.56x_1 + 78.5x_2$$

Batasan :

$$12.56x_1 + 78.5x_2 \geq lpa$$

$$120x_1 + 90x_2 \geq kt$$

$$409x_1 + 728x_2 \leq eb$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

Dimana,

lpa = estimasi luas potensial area yang di tentukan kan oleh *user*

kt = estimasi kapasitas *timeslot* (kanal) yang di tentukan kan oleh *user*

eb = estimasi biaya yang di tentukan kan oleh *user*

4.3. Proses Perancangan Use Case Diagram Aplikasi

Dalam tugas akhir ini, sebelum masuk dalam proses pengembangan aplikasi. Akan dibuat *use case diagram* terlebih dahulu, tujuannya adalah agar mempermudah menentukan fungsi dan fitur apa saja yang terdapat pada aplikasi yang akan dikembangkan selanjutnya. Berikut ini adalah tahapan yang dilakukan dalam perancangan pembuatan *Use Case Diagram* dari aplikasi.

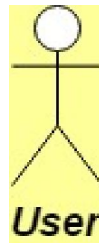
4.3.1. Penentuan Actor, Use Case dan Relation

Sebelum merancang sebuah *Use Case Diagram*, akan di tentukan terlebih dahulu terkait *Actor*, *Use Case* dan *Relation* nya.

- *Actor*

Dapat berupa orang, proses atau sistem lain yang berinteraksi dengan sistem yang akan dibuat. Jadi walaupun simbol aktor dalam diagram usecase berbentuk orang, namun aktor tersebut belum tentu orang, dapat berupa proses atau sistem.

Untuk aktornya telah di tentukan hanya ada satu aktor yaitu *User*. *User* akan melakukan interaksi secara langsung dengan sistem tanpa ada keterlibatan aktor lainnya. Digambarkan dalam *Use Case* adalah seperti Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Aktor yang terlibat dalam *Use Case* adalah *User*

- *Use Case*

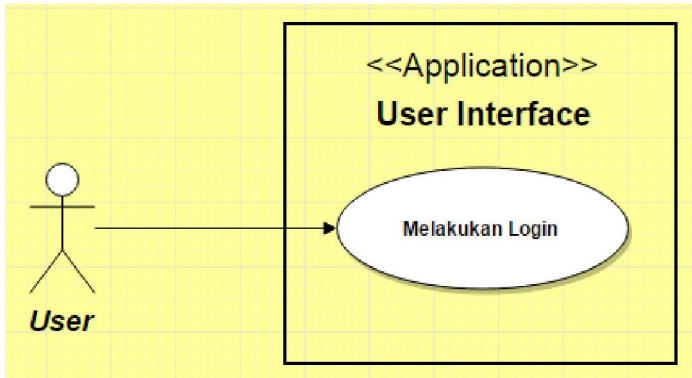
Use Case merupakan fungsionalitas yang disediakan sistem sebagai unit-unit yang saling berinteraksi atau bertukar pesan antar unit maupun aktor. *Use Case* digambarkan dalam bentuk oval. Digambarkan seperti pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Salah satu *Use Case* yang terdapat pada aplikasi

- *Relation*

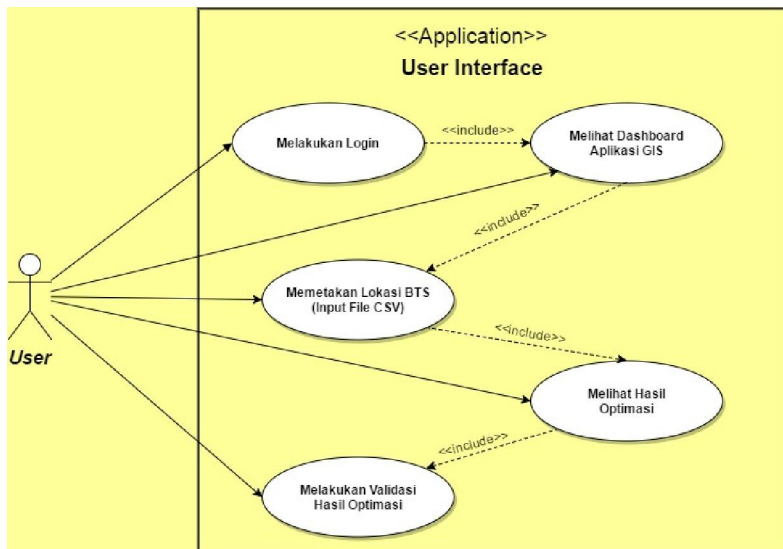
Relation atau relasi merupakan hubungan yang terjadi pada sistem baik antar aktor maupun antar usecase maupun antara usecase dan aktor. Salah satu bentuk relasi antara *actor* dan *use case* digambarkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3. Salah satu bentuk Relasi pada *Use Case Diagram*

4.3.2. Pembuatan *Use Case Diagram*

Setelah menentukan *Actor*, *Use Case* dan *Relation* pada tahap sebelumnya, selanjutnya adalah pembuatan *Use Case Diagram*. Untuk *Use Case Diagram* secara lengkap digambarkan pada Gambar 4.4



Gambar 4.4. Use Case Diagram dari aplikasi GIS

Dapat dilihat pada Gambar 4.4 bahwa aktor *User* dapat berinteraksi langsung dengan sistem Aplikasi melalui *User Interface* dengan total jumlah *Use Case* yang terdapat dalam *Use Case Diagram* adalah 5 *Use Case* utama.

4.3.3. Penjelasan Use Case Description

Setelah berhasil merancang *Use Case Diagram*, tahap selanjutnya adalah masing masing dari *Use Case* tersebut akan di *breakdown* serta akan dijelaskan lebih detail dalam *Use Case Description* pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6. Penjelasan Use Case Melakukan Login

ID :	1
Use Case :	Melakukan Login
Primary Actor	User

Brief Description	Menjelaskan tentang bagaimana <i>User</i> dapat masuk ke dalam aplikasi
Pre Condition	<i>User</i> telah membuka aplikasi terlebih dahulu
Normal Flow of Event	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>User</i> menjalankan aplikasi 2. Sistem menampilkan <i>pop-up</i> untuk login terlebih dahulu. 3. <i>User</i> memasukan <i>username</i> dan <i>password</i> dengan benar dan meng-klik Masuk Aplikasi 4. Sistem akan menampilkan halaman dashboard dari Aplikasi kepada <i>User</i>
Alternate Flow of Event	-
Exceptional Flow of Event	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>User</i> menjalankan aplikasi 2. Sistem menampilkan <i>pop-up</i> untuk login terlebih dahulu. 3. <i>User</i> salah memasukan <i>username</i> dan <i>password</i> dan meng-klik Masuk Aplikasi 4. Sistem akan menampilkan pesan "Username/Password yang Anda masukan salah"
Post Condition	<i>User</i> telah masuk dan dapat melihat halaman dashboard dari aplikasi

Tabel 4.7. Penjelasan Use Case Melihat Dashboard Aplikasi GIS

ID :	2
Use Case :	Melihat Dashboard Aplikasi GIS
Primary Actor	<i>User</i>
Brief Description	Menjelaskan tentang bagaimana <i>User</i> dapat mengakses dashboard aplikasi
Pre Condition	<i>User</i> telah melakukan <i>login</i> terlebih dahulu
Normal Flow of Event	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>User</i> berhasil melakukan <i>login</i> 2. <i>User</i> dapat mengakses dan menjalankan fitur yang terdapat pada aplikasi melalui halaman dashboard.

Alternate Flow of Event	-
Exeptional Flow of Event	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>User</i> gagal melakukan <i>login</i> 2. Sistem menampilkan <i>pop-up</i> bahwa <i>User</i> salah memasukan <i>username/password</i> dan <i>User</i> tidak dapat mengakses halaman dashboard.
Post Condition	<i>User</i> telah berada pada halaman dashboard aplikasi

Tabel 4.8. Penjelasan *Use Case* Memetakan Lokasi BTS

ID :	3
Use Case :	Memetakan lokasi BTS (Input file CSV)
Primary Actor	<i>User</i>
Brief Description	Menjelaskan tentang bagaimana <i>User</i> dapat memetakan data BTS pada aplikasi GIS
Pre Condition	<i>User</i> telah berada pada halaman dashboard aplikasi terlebih dahulu
Normal Flow of Event	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>User</i> telah berada pada halaman dashboard aplikasi 2. <i>User</i> meng-klik tombol “Choose File”. 3. Sistem akan menampilkan <i>pop-up</i> kepada <i>User</i> untuk memilih file CSV yang akan digunakan 4. <i>User</i> memilih file CSV yang akan digunakan dan mengklik tombol “Open” 5. Sistem akan membaca file CSV yang telah di <i>input</i>-kan oleh <i>User</i> dan menampilkan hasil pemetaan file CSV pada <i>Google Maps</i>
Alternate Flow of Event	-

Exeptional Flow of Event	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>User</i> telah berada pada halaman dashboard aplikasi 2. <i>User</i> meng-klik tombol “Choose File”. 3. Sistem akan menampilkan <i>pop-up</i> kepada <i>User</i> untuk memilih file CSV yang akan digunakan 4. <i>User</i> memilih file non-CSV yang akan digunakan dan mengklik tombol “Open” 5. Sistem akan menampilkan pesan <i>error</i> “Format file tidak sesuai”
Post Condition	<i>User</i> telah memetakan data BTS pada aplikasi dan selanjutnya dapat menjalankan fitur optimasi yang terdapat pada aplikasi

Tabel 4.9. Penjelasan Use Case Melihat Hasil Optimasi

ID :	4
Use Case :	Melihat Hasil Optimasi
Primary Actor	<i>User</i>
Brief Descriptiom	Menjelaskan tentang bagaimana <i>User</i> dapat menjalankan melihat hasil dari fitur optimasi yang ada pada aplikasi
Pre Condition	<ul style="list-style-type: none"> • <i>User</i> telah memetakan data BTS pada aplikasi GIS terlebih dahulu • <i>User</i> telah mengisi nilai untuk parameter luas area • <i>User</i> telah mengisi nilai untuk parameter kapasitas • <i>User</i> telah mengisi nilai untuk parameter biaya
Normal Flow of Event	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>User</i> menentukan area yang akan dgunakan untuk dibangun BTS dengan menggambar sebuah bentuk bangun datar (cth: persegi) pada peta <i>Google Maps</i> di halaman dashboard

	<ol style="list-style-type: none"> 2. Sistem akan melakukan konversi dari bentuk bangun datar yang di <i>input</i>-kan oleh user menjadi nilai luas area. 3. <i>User</i> menentukan sekiranya estimasi minimal kapasitas yang harus tersedia di area tersebut. 4. <i>User</i> menentukan sekiranya estimasi maksimal biaya yang dikeluarkan untuk membangun BTS di area tersebut. 5. <i>User</i> meng-klik tombol <i>Submit</i> 6. Sistem akan membaca dan meng-<i>generate</i> sebuah model optimasi berdasarkan <i>input</i> yang telah dimasukan oleh <i>User</i> sebelumnya. 7. <i>User</i> meng-klik tombol “Optimize” 8. Sistem akan menampilkan hasil optimasi
Alternate Flow of Event	-
Exeptional Flow of Event	-
Post Condition	<i>User</i> dapat melihat hasil optimasi

Tabel 4.10. Penjelasan *Use Case* Melakukan Validasi Hasil Optimasi

ID :	5
Use Case :	Melakukan Validasi Hasil Optimasi
Primary Actor	<i>User</i>
Brief Descriptiom	Menjelaskan tentang bagaimana <i>User</i> dapat melakukan validasi dari hasil optimasi yang telah ditampilkan oleh sistem aplikasi
Pre Condition	<i>User</i> telah melihat hasil optimasi yang ditampilkan oleh sistem aplikasi

Normal Flow of Event	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>User</i> telah melihat hasil optimasi yang ditampilkan oleh sistem aplikasi. 2. <i>User</i> meng-<i>input</i> kan kembali hasil optimasi yang di tampilkan oleh sistem aplikasi untuk memastikan apakah hasil sudah valid atau belum. 3. Sistem menampilkan hasil validasi berdasarkan <i>input</i> yang telah dilakukan oleh <i>User</i>.
Alternate Flow of Event	-
Exeptional Flow of Event	-
Post Condition	<i>User</i> melakukan validasi dari hasil optimasi yang ditampilkan oleh sistem aplikasi

BAB V IMPLEMENTASI

Bab ini menjelaskan tentang proses implementasi model yang telah ditemukan. Model tersebut dimasukan kedalam aplikasi GIS, yang kemudian dijalankan agar dapat mengetahui hasil optimasi terbaik menurut aplikasi GIS.

5.1. Lingkungan Uji Coba

Dalam tugas akhir ini, implementasi pemodelan optimasi dilakukan menggunakan PC berspesifikasi *processor* Intel Core i7 2670QM dengan RAM 8GB.

5.2. Persiapan Pengembangan Aplikasi

Dalam proses implementasi, pembuatan aplikasi menggunakan bahasa pemrograman *HTML5*, *CSS3*, *Javascript* dan *PHP* dengan bantuan *tools* XAMPP Control Panel, Notepad++, dan Google Chrome sebagai *tools* pendukung agar mempermudah proses pengerjaannya aplikasi.

Untuk pembuatan aplikasi, penelitian ini menggunakan beberapa *library* dengan tujuan agar mempermudah proses pembuatan aplikasi. Berikut ini merupakan beberapa *library* yang digunakan dalam pengembangan aplikasi dalam bentuk *Javascript* (*.js) yang didapatkan dari internet secara gratis (*Open Source*) :

- *jQuery (offline)*
jQuery adalah sebuah *library JavaScript*. Dalam dunia pemrograman, *library* adalah kumpulan dari berbagai fungsi “siap pakai” untuk memudahkan pembuatan sebuah aplikasi. Dengan kata lain, *jQuery* adalah kumpulan fungsi-fungsi *Javascript* yang memudahkan penulisan kode *Javascript*.

- *Bootstrap (offline)*
Bootstrap adalah sebuah *library* atau biasa disebut *front-end framework* yang dapat digunakan untuk mempermudah membangun desain tampilan sebuah website.
- *GLPK (GNU Linear Programming Kit) (offline)*
GLPK (GNU Linear Programming Kit) merupakan sebuah *library* khusus yang dibuat untuk tujuan penyelesaian dari permasalahan kompleks terkait optimasi terutama pada *Linear Programming* dan *Integer Linear Programming*.
- *Google Maps API (online)*
Google Maps API merupakan sebuah *library* khusus bersifat *open source* yang dapat digunakan untuk mengelola dan memvisualisasikan data dan informasi dalam bentuk peta digital. *Library* ini sendiri bersifat *online*, sehingga jika ingin menggunakannya harus terhubung dengan internet.

Setelah seluruh *library* yang dibutuhkan tersedia didalam *project folder*, selanjutnya adalah dengan merancang aplikasi mengikuti format yang telah ditentukan oleh *library* tersebut. Setelah itu model dapat dimasukan dan dikelola dengan baik untuk menghasilkan keluaran yang optimal.

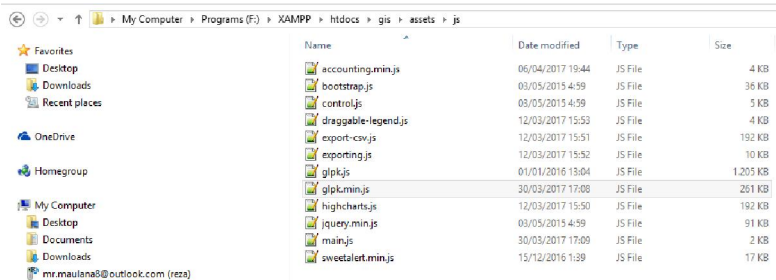
5.3. Pengembangan Aplikasi

Dalam tahap ini, akan dijelaskan beberapa fase yang dilakukan dalam proses pengembangan aplikasi.

5.3.1. Inisialisasi *Library* kedalam Project Folder

Pada pengerjaan tugas akhir ini, *project folder* diberinama “gis” yang berlokasi pada Drive *F:\XAMPP\htdocs\gis*. Seluruh *source code* dan *library* dimasukan dan dijadikan

dalam satu folder tersebut. Penempatan lokasi dari *library* yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 5.1



Gambar 5.1. Inisialisasi Library pada project folder

Setelah seluruh *library* sudah tersedia dalam *project folder*, selanjutnya dengan memanggil *library* tersebut ke dalam aplikasi. Tujuannya agar aplikasi dapat terhubung dengan *library* yang telah diinisiasikan sebelumnya. Penjelasan penulisan program terkait cara pemanggilan *library* diatas, digambarkan pada Script 5.1.

```

1. <!--CSS File-->
2. <link rel="stylesheet" type="text/css" href="assets/css/bootstrap.css">
3. <link rel="stylesheet" type="text/css" href="assets/css/plus.css">
4. <link rel="stylesheet" type="text/css" href="assets/css/font-awesome.css">
5. <link rel="stylesheet" type="text/css" href="assets/css/bootstrap-tour-standalone.min.css">
6. <!--JS File-->
7. <script src="assets/js/jquery.min.js"></script>
8. <script src="assets/js/bootstrap.js"></script>
9. <script src="assets/js/control.js"></script>
10. <script src="assets/js/accounting.min.js"></script>
11. <script src="assets/js/bootstrap-tour-standalone.min.js"></script>
12. <script src="http://maps.googleapis.com/maps/api/js?key=AIZA5yB1Hxt100nMP8gHzS

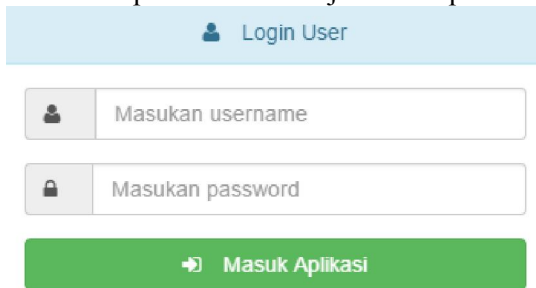
```

Script 5.1. Pemanggilan library kedalam Aplikasi

5.3.2. Desain dan Pengembangan Aplikasi

Pada tahap ini, akan dilakukan desain antar muka dari Aplikasi. Tujuannya adalah agar mempermudah *user* dalam menggunakan Aplikasi nantinya. Desain akan dibuat sebaik dan semudah mungkin dengan mempertimbangkan hal - hal yang sekiranya cukup penting untuk di tampilkan dalam aplikasi. Setelah desain antar muka aplikasi selesai dibuat, selanjutnya akan dilakukan pengembangan aplikasi yang meliputi pembuatan source code *Javascript* dan *PHP* untuk aplikasi. Dalam aplikasi sendiri akan terdapat beberapa fitur dan fungsi utama yang akan tampil dalam aplikasi. Terkait fitur dan fungsi yang terdapat pada aplikasi dapat dilihat sebagai berikut:

- Fitur Login untuk *user*
Pada Gambar 5.2 merupakan fitur login yang terdapat pada aplikasi, fungsinya adalah untuk tujuan keamanan agar hanya orang yang memiliki akses dan mengetahui *username* dan *password* saja yang bisa masuk ke dalam aplikasi. Fitur login akan muncul pada saat *User* pertamakali menjalankan aplikasi.



The image shows a login form with a light blue header bar containing a user icon and the text 'Login User'. Below the header are two input fields: the first has a user icon and the placeholder text 'Masukan username'; the second has a lock icon and the placeholder text 'Masukan password'. At the bottom is a green button with a right-pointing arrow icon and the text 'Masuk Aplikasi'.

Gambar 5.2. Tampilan Fitur Login

Pada Script 5.2. dibawah merupakan *source code* untuk kerangka *HTML* dari aplikasi. Berisikan 2 *input field* yaitu *username* dan *password*. Serta satu tombol untuk mengecek dan masuk ke dalam aplikasi.

```

1. <div class="panel-heading">
2.     <div class="row-fluid user-row"><i class="fa fa-
   user"></i> Login User</div>
3.     </div>
4.     <div class="panel-body">
5.         <form action="login.php" method="POST" name="login">
6.             <div class="form-group">
7.                 <div class="input-group">
8.                     <span class="input-group-
   addon"><i class="fa fa-user"></i></span>
9.                     <input class="form-
   control" placeholder="Masukan username" type="text" name="username" required>
10.                </div>
11.            </div>
12.            <div class="form-group">
13.                <div class="input-group">
14.                    <span class="input-group-
   addon"><i class="fa fa-lock"></i></span>
15.                    <input class="form-
   control" placeholder="Masukan password" type="password" name="password" required>
16.                </div>
17.            </div>
18.            <button type="submit" class="btn btn-success btn-
   block" value="Login">
19.                <i class="fa fa-sign-
   in"></i> Masuk Aplikasi</button>
20.        </form>
21.    </div>

```

Script 5.2. Source Code HTML untuk Fitur Login

Pada Script 5.3. adalah sebuah *function* dalam bentuk *PHP* yang fungsinya untuk mengecek dan memastikan apakah *username* dan *password* yang dimasukan oleh *User* sudah benar atau belum menyesuaikan dengan *username* dan *password* yang terdapat dalam *database*. Jika *username* dan *password* yang dimasukan oleh *User* salah, maka sistem akan menampilkan pesan error “Username / Password yang Anda masukan salah” dan *User* tidak dapat masuk ke dalam aplikasi.

```

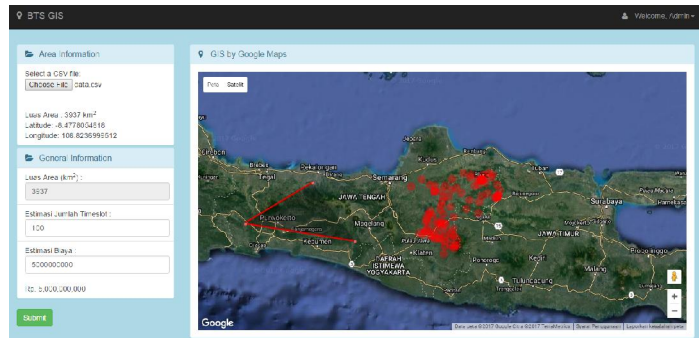
1. <?php
2. session_start();
3. include('config/dbcon.php');
4. if ( $_POST ) {
5.     $sth = $dbh->prepare( "SELECT * FROM member WHERE user=? and pass=?" );
6.     $sth->execute( array( $_POST['username'], $_POST['password'] ) );
7.     $result = $sth->fetch( PDO::FETCH_OBJ );
8.     if ( $result ) {
9.         if($result->id==1)
10.         {
11.             $_SESSION['admin'] = $result->id;
12.             header( 'Location:app.php' );
13.         }
14.     } else
15.         echo "<script type='text/javascript'>alert('Username/Password yang Anda Masukan salah');document.location='index.php'</script>";
16. }
17. ?>

```

Script 5.3. Source Code Javascript untuk Fitur Login

- Fitur Utama Aplikasi GIS

Pada gambar 5.3 adalah halaman dashboard dari aplikasi GIS, *User* dapat meggunakan beberapa fitur yang terdapat dalam aplikasi melalui halaman dashboard ini. Halaman akan dapat di akses oleh *User* setelah *User* berhasil melakukan login.



Gambar 5.3. Tampilan Fitur Utama Aplikasi GIS

Pada Script 5.4 adalah sebuah *function* dalam bentuk *Javascript* yang fungsinya untuk menampilkan *Google Maps* dalam aplikasi.

```
1. var mapOptions = {
2.     zoom: 8,
3.     center: new google.maps.LatLng(-7.19392, 111.00012),
4.     mapTypeId: google.maps.MapTypeId.HYBRID,
5.     draggableCursor: "crosshair"
6. }
7.
8. var map = new google.maps.Map(document.getElementById('map-
9. canvas'), mapOptions);
10. var bounds = new google.maps.LatLngBounds();
11. google.maps.event.addListener(map, "click", function(evt) {
12.     measureAdd(evt.latLng);
13. });
```

Script 5.4. Source Code Javascript untuk menampilkan Google Maps

Pada Script 5.5 adalah sebuah *function* dalam bentuk *Javascript* yang fungsinya untuk membaca file CSV yang di *input*-kan oleh *User*. Sistem akan membaca berdasarkan kolom awal dari paling kiri, hingga

kolom akhir di paling kanan. Kemudian sistem akan memetakan *Longitude* dan *Latitude* berdasarkan file CSV di peta *Google Maps* pada aplikasi GIS.

```

1. fileInput.addEventListener('change', function(e) {
2.     var file = fileInput.files[0];
3.     var textType = /csv.*/;
4.     var site;
5.     var reader = new FileReader();
6.     reader.onload = function(e) {
7.         var text = reader.result;
8.         function csvParse(csv) {
9.             var lines = csv.split("\n");
10.            var result = [];
11.            var headers = lines[0].split(",");
12.            for (var i = 1; i < lines.length; i++) {
13.                var obj = {};
14.                var currentline = lines[i].split(",");
15.                for (var j = 0; j < headers.length; j++) {
16.                    obj[headers[j]] = currentline[j];
17.                }
18.                result.push(obj);
19.            }
20.            return result;
21.        }
22.        site = csvParse(text);

```

Script 5.5. Source Code Javascript untuk input file CSV ke dalam Aplikasi GIS

Pada Script 5.6 adalah sebuah *function* dalam bentuk *Javascript* perpaduan antara *Google Geometry* dan *Haversine Formula* yang fungsinya untuk menghitung luas area berdasarkan titik point yang telah di klik oleh *User*. Sistem akan otomatis menghitung luas area ketika *User* meng-input kan lebih dari 2 titik, jika *User* hanya menginputkan 2 titik, maka titik tersebut akan membentuk sebuah garis, jika jumlah titiknya lebih dari 2, sebagai contoh adalah jumlah titiknya 3, maka sistem

akan membaca sebagai sebuah bangun datar berbentuk segitiga. Sistem akan secara otomatis menghitung luas dari area bangun datar tersebut.

```

1. function measureCalc() {
2.     var r = 6371e3; // metres
3.     for (a=0; a < loc.length; a++) {
4.         var c = Math.cos(Lat.Lng.lng(loc[a+1])) - Math.cos(Lat.Lng.
       lng(loc[a]));
5.         d = Math.acos( Math.sin (Lat.Lng.lat(loc[a])) * Math.sin (L
       at.Lng.lat(loc[a+1])) + Math.cos (Lat.Lng.lng(loc[a])) * Math.cos (Lat.Lng.lng(loc[
       a+1])) * c )
6.     }
7.     var spherical = d * r;
8.     var geometry = new google.maps.Geometry();
9.
10.    var length = google.maps.geometry.spherical.computeLength(measu
       re.line.getPath());
11.    jQuery("#span-length").text(length.toFixed(0));
12.
13.    if (measure.mvcPolygon.getLength() > 2) {
14.
15.        var bounds = new google.maps.LatLngBounds();
16.        var loc = measure.polygon.getPath().b;
17.        for (i = 0; i < loc.length; i++) {
18.            bounds.extend(new google.maps.LatLng(loc[i].lat(), loc[
                i].lng()));
19.        }
20.        jQuery("#lat").val(bounds.getCenter().lat().toFixed(10));
21.        jQuery("#lng").val(bounds.getCenter().lng().toFixed(10));
22.
23.        var area = google.maps.geometry.spherical.computeArea(measu
            re.polygon.getPath()) / 1000000;
24.    }

```

Script 5.6. Source Code Javascript untuk menghitung luas area pada Aplikasi GIS

Pada Script 5.7 merupakan *source code* untuk *HTML Form* yang fungsinya untuk menampung nilai yang di input-kan oleh *User* pada aplikasi. Berisikan total ada 6 *input field* yaitu *luas area*, *kapasitas*, *biaya* dan 3

hidden input field yang berfungsi untuk membaca koordinat yang di *input*-kan oleh *User*.

```

1. <div class="menubar2 panel-collapse collapse in">
2.     <div class="sidebar-body">
3.         <table class="table">
4.             <form action="report.php" method="post">
5.                 <tr>
6.                     <td id="tour3">
7.                         Luas Area (km<sup>2</sup>) :
8.                         <input type="text" id="area" name="area" class="for
m-control" readonly/>
9.                         <input type="hidden" id="rad" name="rad" class="for
m-control" required/>
10.                        <input type="hidden" id="lat" name="lat" class="for
m-control"/>
11.                        <input type="hidden" id="lng" name="lng" class="for
m-control"/>
12.                    </td>
13.                </tr>
14.                <tr>
15.                    <td id="tour4" >
16.                        Estimasi Jumlah Timeslot :
17.                        <input type="text" name="user" class="form-
control" onkeypress='validate(event)' required/>
18.                    </td>
19.                </tr>
20.                <tr>
21.                    <td id="tour5">
22.                        Estimasi Biaya :
23.                        <input name="budget" id="shares" type="text" class=
"form-control" onkeypress='validate(event)' required/>
24.                        <br />
25.                        Rp. <span id="result"></span>
26.                    </td>
27.                </tr>

```

Script 5.7. Source Code HTML untuk menampung nilai yang dimasukan oleh user

- Fitur Optimasi dan Validasi hasil pada Aplikasi GIS
Pada Gambar 5.4 merupakan halaman untuk fitur optimasi dan validasi hasil dari optimasi dari aplikasi GIS, pada halaman ini sistem akan meng-*generate* sebuah model berdasarkan *input* yang dilakukan oleh

User di halaman sebelumnya. Kemudian hasil optimasi akan di tampilkan ketika *User* sudah meng-klik tombol “Optimize”. *User* dapat juga melakukan validasi terkait hasil optimasi yang ditampilkan oleh sistem untuk memastikan apakah jawaban sudah valid atau belum dengan memasukan ulang hasil optimasi di kolom validasi.

The screenshot displays the BTS GIS application interface, divided into two main sections: Optimization and Validation.

Optimization Section:

- Formulated Model:**
 - Decision Variable: X_1 - BTS type Microcell, X_2 - BTS type Macrocell
 - Maximize: Fungsi Tujuan: $OBJ = 12 \cdot X_1 + 18 \cdot X_2$
 - Subject To: Batasan:
 - area: $12 \cdot X_1 + 18 \cdot X_2 \leq 480$
 - limit: $120 \cdot X_1 + 90 \cdot X_2 \leq 100$
- Buttons:** Optimize
- Output:**

```

[1] = 240 (311.804)  [2] = 1 (12.149)
[3] = 1 (1.4275)

```

Validation Section:

- Input:** Masukkan nilai X_1 dan X_2 yang di dapat dari proses Optimasi
 - X_1 :
 - X_2 :
- Message:** Tidak ada BTS di area tersebut
- Text:** Berikut ini jumlah BTS yang diperlukan untuk meng-cover area tersebut adalah:
- Legend:**
 - 1 BTS type Microcell
 - 6 BTS type Macrocell
- Table:**

Parameter	Target	Realisasi
Keperluan luas	480 m ²	483.56 m ²
Cakupan area BTS	100 Times ²	660 Times ²

Gambar 5.4. Tampilan Fitur Optimasi dan Validasi hasil pada Aplikasi GIS

Pada Script 5.8 merupakan *source code* untuk *Javascript* yang fungsinya untuk menyelesaikan model permasalahan *Linear Programming (LP)* dan *Integer Linear Programming (ILP)*. *Source code* dibawah ini adalah *dependency* dari *library glpk.js* yang telah diinsiasikan sebelumnya.

```

1. importScripts('glpk.min.js');
2.
3. var lp;
4.
5. self.addEventListener('message', function(e) {
6.     function log(value){
7.         self.postMessage({action: 'log', message: value});
8.     }
9.
10.    glp_set_print_func(log);
11.
12.    var obj = e.data;
13.    switch (obj.action){
14.        case 'load':
15.            var result = {}, objective, i;
16.            try {
17.                lp = glp_create_prob();
18.                glp_read_lp_from_string(lp, null, obj.data);
19.
20.                glp_scale_prob(lp, GLP_SF_AUTO);
21.
22.                var smcp = new SMCP({presolve: GLP_ON});
23.                glp_simplex(lp, smcp);
24.
25.                if (obj.mip){
26.                    glp_intopt(lp);
27.                    objective = glp_mip_obj_val(lp);
28.                    for(i = 1; i <= glp_get_num_cols(lp); i++){
29.                        result[glp_get_col_name(lp, i)] = glp_mip_col_val(lp, i);
30.                    }
31.                } else {
32.                    objective = glp_get_obj_val(lp);
33.                    for(i = 1; i <= glp_get_num_cols(lp); i++){
34.                        result[glp_get_col_name(lp, i)] = glp_get_col_prim (lp, i);
35.                    }
36.                }
37.
38.                lp = null;
39.
40.            } catch(err) {
41.                log(err.message);
42.            } finally {
43.                self.postMessage({action: 'done', result: result, objective: object

```

Script 5.8. Source Code Javascript untuk menyelesaikan model optimasi LP & ILP

Pada Script 5.9 merupakan *source code* untuk *Javascript* dan *PHP* yang fungsinya untuk melakukan validasi dari hasil optimasi yang di tampilkan oleh sistem aplikasi, validasinya meliputi perhitungan ulang terkait apakah hasil optimasi yang ditampilkan oleh aplikasi apakah sudah valid atau belum dengan memastikan dari hasil yang hasil optimasi oleh aplikasi tidak melanggar batasan yang sudah ditentukan sebelumnya.

```

1. var multiplyShares = function() {
2.     var val1 = parseFloat($('#x1').val())
3.     var val2 = parseFloat($('#x2').val())
4.
5.     val3 = accounting.formatMoney ((val1 * 409000000) + ((val2 - <?php echo $st
mt; ?>) * 728000000), " ",0) || "...";
6.     $('#r1').html(val3)
7.     val4 = ((val1 * 12.56) + ((val2) * 78.5)) || "...";
8.     $('#r2').html(val4)
9.     val5 = ((val1 * 120) + ((val2) * 90)) || "...";
10.    $('#r3').html(val5)
11.    val6 = accounting.formatMoney (<?php echo $budget; ?> * 1000000, " ",0) || "...";
12.    $('#r4').html(val6)
13.    val7 = (<?php echo $area; ?>) || "...";
14.    $('#r5').html(val7)
15.    val8 = (<?php echo $user; ?>) || "...";
16.    $('#r6').html(val8)
17.    val9 = (<?php echo $area; ?> - val4) || "...";
18.    $('#r7').html(val9)
19.    val10 = (val1) || "0";
20.    $('#r8').html(val10)
21.    val11 = (val2 - <?php echo $stmt; ?>) || "0";
22.    if (val11>0) {$('#r9').html(val11)}
23.    else if (val11<0) {$('#r9').html("Area tersebut kelebihan " +(<?php echo $s
tmt; ?> - val2))}
24.    else if (val11 = 0) {$('#r9').html("Tidak ada yang berlebihan")}
```

Script 5.9. Source Code Javascript & PHP untuk validasi hasil optimasi

5.4. Penjelasan Alur Kerja Aplikasi

Setelah proses pengembangan aplikasi pada tahap sebelumnya. Pada tahap ini akan dijelaskan terkait alur dan cara kerja dari aplikasi. Aplikasi yang dikembangkan pada penelitian ini adalah berbasis Website menggunakan bahasa pemrograman *HTML*, *CSS*, *Javascript*, *PHP*. Untuk menjalankan aplikasi diperlukan server, server yang digunakan disini adalah *Apache* dengan menggunakan bantuan aplikasi *XAMPP Control Panel*.

Alur dan cara kerja dari aplikasi dapat dilihat pada Gambar 5.5



Gambar 5.5. Alur Kerja Aplikasi

Aplikasi terbagi menjadi 3 halaman utama, yaitu :

1. *index.php* (Login Aplikasi)

Halaman pertama saat aplikasi di jalankan, berisikan fitur *login* untuk masuk ke dalam aplikasi.

Cara kerja : *User* harus meng-*input* kan *username* dan *password* terlebih dahulu agar bisa masuk ke dalam aplikasi.

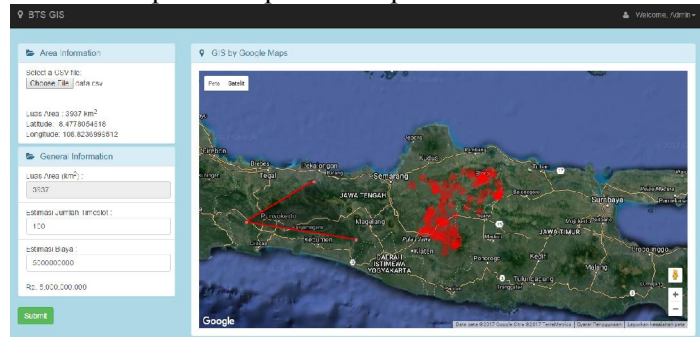
Untuk gambar halaman *Login* aplikasi dapat dilihat pada Gambar 5.6.

The image shows a web form for user login. At the top is a light blue header with a user icon and the text 'Login User'. Below this are two input fields: the first has a user icon and the placeholder text 'Masukan username'; the second has a lock icon and the placeholder text 'Masukan password'. At the bottom is a green button with a right-pointing arrow icon and the text 'Masuk Aplikasi'.

Gambar 5.6. Halaman login aplikasi (*index.php*)

2. *app.php* (Dashboard Aplikasi)

Halaman kedua pada aplikasi. Halaman ini akan dapat di akses ketika *User* sudah melakukan *login*. Halaman dashboard aplikasi dapat dilihat pada Gambar 5.7.



Gambar 5.7. Halaman dashboard aplikasi (*app.php*)

Pada halaman ini dibagi menjadi 3 komponen utama, yaitu :

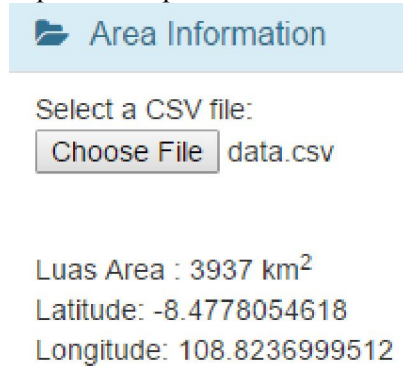
- *Area Information*

Salah satu komponen yang terdapat pada halaman *app.php* yang didalamnya berisikan fitur untuk pemetaan lokasi BTS berdasarkan file CSV serta informasi area terkait luas area dan titik koordinatnya pada peta.

Cara kerja : *User* harus meng-*upload* file data pemetaan BTS dalam bentuk *CSV* terlebih dahulu agar sistem dapat membaca dan menampilkan visualisasi pemetaan dari data *CSV* tersebut yang digunakan sebagai data masukan untuk selanjutnya ditampilkan dalam peta Google Maps. Data yang digunakan harus menyesuaikan format data yang sudah ditentukan, jika data tidak mengikuti format yang telah ditentukan

sebelumnya maka sistem akan error dan tidak dapat menampilkan pemetaan lokasi BTS pada peta Google Maps.

Untuk gambar komponen terkait *Area Information* dapat dilihat pada Gambar 5.8.



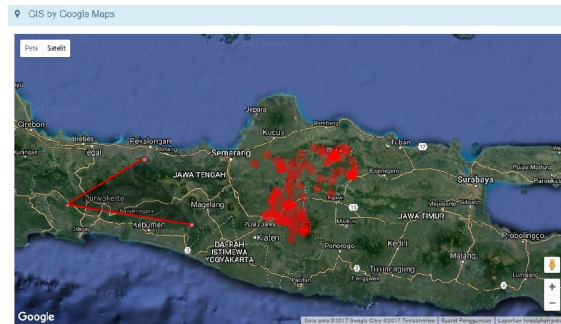
Gambar 5.8. Komponen *Area Information*

- GIS by Google Maps*

Salah satu komponen yang terdapat pada halaman *app.php* yang didalamnya berisikan visualisasi dari pemetaan area BTS berdasarkan file CSV ke dalam bentuk peta (*Google Maps*). Pada komponen ini juga terdapat implementasi dari *Haversine Formula* dan *Google Geometry* yang digunakan untuk menggambar menghitung luas area yang ingin dibangun BTS.

Cara kerja : *User* harus menentukan area yang akan menjadi target lokasi untuk membangun BTS, area tersebut harus di gambarkan dalam bentuk bidang datar. Sebagai contoh persegi 4, kemudian sistem akan secara otomatis menghitung luas area tersebut yang selanjutnya akan dijadikan sebagai batasan dari model optimasi.

Untuk gambar komponen terkait *GIS by Google Maps* dapat dilihat pada Gambar 5.9.



Gambar 5.9. Komponen *GIS by Google Maps*

- *General Information*

Salah satu komponen yang terdapat pada halaman *app.php* yang di dalamnya terdapat 3 *input field* yang digunakan untuk menampung nilai yang di-*input* kan oleh user yang digunakan sebagai batasan dari setiap parameter optimasi, diantaranya : luas area, kapasitas *timeslot* dan biaya.

Cara kerja : *User* harus mengisi 2 dari 3 *input field* yang ada, terkait estimasi kapasitas *timeslot* yang dibutuhkan di area yang sudah ditentukan sebelumnya dan estimasi biaya yang dikeluarkan untuk membangun BTS. *Input field* pertama tidak perlu diisi karena sistem akan secara otomatis mengisi berdasarkan luas area yang sudah ditentukan oleh user pada Peta Google Maps di tahap sebelumnya.

Untuk gambar komponen terkait *General Information* dapat dilihat pada Gambar 5.10.

General Information

Luas Area (km^2) :

3937

Estimasi Jumlah Timeslot :

100

Estimasi Biaya :

5000000000

Rp. 5,000,000,000

Gambar 5.10. Komponen *General Information*

3. *report.php*

Halaman utama pada aplikasi. Halaman ini adalah halaman ketiga pada aplikasi kelanjutan dari halaman sebelumnya yaitu *app.php*. Untuk gambar halaman *Report* aplikasi dapat dilihat pada Gambar 5.11.

BTS GIS

WELCOME ADMIN

Optimization

Formulated Model:

$\text{Minimize Variable "X"}$
 $\text{"X1" = BTS tipe Macrocell "}$
 $\text{"X2" = BTS tipe Microcell "}$

Maximize "Pangsa Tujuan

$\text{JSL} = 12.56 \times \text{X1} + 78.5 \times \text{X2}$

Support 3G + 4G

$\text{area} = 12.56 \times \text{X1} + 78.5 \times \text{X2} \leq 493$
 $\text{Jumlah} = 100 \times \text{X1} + 90 \times \text{X2} \geq 100$

Optimize

NITTON OPTIMAL SOLUTION FOUND

(X1,X2)

Validation

Masukkan nilai X1 dan Nilai X2 yang diinput dari proses Optimasi

Nilai X1

1

Nilai X2

6

Tidak ada BTS di area tersebut

Selengkapnya, Jumlah BTS yang diperlukan untuk meng cover area tersebut adalah:

1 BTS tipe Macrocell

6 BTS tipe Microcell

Parameter	Target	Realisasi
Pengeluaran biaya	Rp. 5.000.000.000	Rp. 4.777.000.000
Cakupan area BTS	493 km^2	483.56 km^2
Jumlah Timeslot	100 Timeslot	562 Timeslot

Gambar 5.11. Halaman kedua aplikasi (*report.php*)

Pada halaman ini terdapat 2 komponen utama, yaitu :

- *Optimization*

Salah satu komponen yang terdapat pada halaman utama aplikasi yang di dalamnya terdapat fitur utama dalam aplikasi yaitu optimasi. Pada

komponen ini model optimasi akan di-generate berdasarkan input parameter yang sudah di tentukan sebelumnya pada halaman *app.php* di bagian *General Information*. Kemudian setelah model berhasil di-generate, *User* dapat mengklik tombol *Optimize* yang nantinya aplikasi akan memberikan keluaran berupa hasil optimasi terbaik terkait jumlah BTS yang perlu di bangun menurut aplikasi.

Cara kerja : Sistem akan meng-generate sebuah model optimasi dengan beberapa kondisi sesuai dengan *input* yang telah di tentukan oleh *User* sebelumnya. Kemudian *User* hanya perlu untuk meng-klik tombol “*Optimize*” dan sistem akan memberikan keluaran hasil optimasinya.

↻ Optimization

Formulated Model :

* x_1 = BTS tipe Microcell \

* x_2 = BTS tipe Macrocell \

Maximize \ Fungsi Tujuan

obj: + 12.56 x_1 + 78.5 x_2

Subject To \ Batasan

area: + 12.56 x_1 + 78.5 x_2 <= 493

timeslot: + 120 x_1 + 90 x_2 => 100

budget: + 409 x_1 + 728 x_2 <= 5000

Optimize

INTEGER OPTIMAL SOLUTION FOUND
 {"x1":1,"x2":6}

Gambar 5.12. Komponen *Optimization*

- *Validation*

Salah satu komponen yang terdapat pada halaman utama aplikasi yang fungsinya adalah untuk melakukan validasi terkait hasil optimasi yang telah diberikan oleh aplikasi. Validasi disini adalah dengan menampilkan informasi terkait luas area, kapasitas *timeslot* dan biaya apakah sudah sesuai dan valid dengan tidak melanggar batasan yang sudah ditentukan sebelumnya. Dan salah satu keunggulan aplikasi ini adalah dapat membaca dan memberikan informasi jika di area yang sudah ditentukan oleh *User* sebelumnya sudah terdapat BTS atau belum. Jika area tersebut sudah terdapat BTS, maka aplikasi menampilkan informasi bahwa area sudah terdapat BTS dan dari hasil optimasinya secara otomatis akan dikurangi sejumlah kebutuhan BTS yang harus dibangun.

Cara kerja : *User* dapat melakukan validasi dengan fasilitas atau fitur yang di sediakan oleh aplikasi untuk memastikan apakah dari hasil yang diberikan oleh aplikasi dapat memenuhi seluruh kriteria target yang sudah ditentukan sebelumnya oleh *User*. *User* hanya perlu untuk menuliskan kembali hasil yang di berikan sebelumnya pada bagian *Validation*, selanjutnya aplikasi akan mengecek ulang dengan menampilkan informasi untuk validasinya berdasarkan hasil optimasi yang di inputkan oleh *User* sebelumnya.

☒ Validation

Masukan nilai ilai X_1 dan Nilai X_2 yang di dapat dari proses Optimasi

Nilai X_1

Nilai X_2

Tidak ada BTS di area tersebut

Sehingga, jumlah BTS yang diperlukan untuk meng-cover area tersebut adalah :

1 BTS tipe Microcell

6 BTS tipe Macrocell

Parameter	Target	Realisasi
Pengeluaran biaya	Rp. 5,000,000,000	Rp. 4,777,000,000
Cakupan area BTS	493 km ²	483.56 km ²
Jumlah timeslot	100 Timeslot	660 Timeslot

Gambar 5.13. Komponen *Validation*

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB VI

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini akan dijelaskan hasil dari perancangan dan implementasi yang telah disusun dalam tugas akhir ini. Bagian ini menjelaskan mengenai hasil dan pembahasan terkait optimasi jumlah BTS menggunakan metode *Integer Linear Programming*.

6.1. Lingkungan Uji Coba

Lingkungan uji coba merupakan perangkat yang digunakan dalam melakukan percobaan untuk pencarian model terbaik pada tugas akhir ini. Lingkungan uji coba terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras yang digunakan memiliki rincian seperti pada Tabel 6.1.

Tabel 6.1. Perangkat Keras yang digunakan

Perangkat Keras	Spesifikasi
Jenis	Mobile Computer / Laptop
Processor	Intel Core i7 2670QM
RAM	8024 MB
Hard Disk Drive	1 TB

Selain itu juga, terdapat lingkungan perangkat lunak yang digunakan dalam uji coba model. Perangkat lunak yang digunakan tertera pada Tabel 6.2.

Tabel 6.2. Perangkat Lunak yang digunakan

Perangkat Lunak	Fungsi
Windows 8.1	Sistem operasi
Microsoft Excel 2013	Mengelola data, merangkum data

Perangkat Lunak	Fungsi
Notepad++	Merancang dan membangun aplikasi dengan mengolah <i>source code</i> program menjadi bentuk aplikasi berbasis website.
Xampp Control Panel	Server yang digunakan untuk melakukan uji coba aplikasi
Google Chrome	Browser yang digunakan untuk melakukan uji coba aplikasi

6.2. Validasi Model

Proses validasi digunakan untuk memastikan apakah model dan aplikasi yang dibuat telah memenuhi tujuan yang diharapkan. Proses validasi dilakukan dengan cara membandingkan hasil perhitungan optimasi aplikasi lain dengan menggunakan model yang sama. Pada proses kali ini validasi model menggunakan aplikasi *QM for Windows* untuk melihat apakah model dan program yang telah dibuat dalam aplikasi GIS sudah sesuai.

Untuk membandingkannya dapat dilihat dari keluaran yang dihasilkan pada setiap aplikasi. Apabila hasil yang dikeluarkan hampir sama atau masih berada dalam batas wajar yang diperbolehkan, maka dapat dianggap model dan aplikasi yang dibuat telah valid. Pada Tabel 6.3 dijelaskan secara terperinci seberapa besar perbedaan yang dihasilkan antara kedua aplikasi yang digunakan untuk validasi.

Tabel 6.3 menunjukkan perbandingan antara hasil optimasi yang dikeluarkan oleh aplikasi GIS dengan aplikasi *QM for Windows* untuk kondisi yang sudah ditentukan yaitu : luas potensial area untuk dibangun BTS minimal adalah 882 km², tidak ada BTS di area tersebut, kapasitas *timeslot* yang dibutuhkan untuk area tersebut minimal adalah 600 *timeslot* dengan estimasi biaya yang dikeluarkan tidak melebihi Rp. 18.000.000.000.

Tabel 6.3. Hasil Validasi Model

Deskripsi Variabel	Hasil Keluaran Optimasi	
	Aplikasi GIS	QM for Windows
x_1 (Jumlah BTS Microcell)	1	1
x_2 (Jumlah BTS Macrocell)	24	24
Ketercapaian Tujuan		
<i>Coverage Area</i>	1.896,56 km ²	1.896,56 km ²
Kapasitas <i>Timeslot</i>	2280	2280
Pengeluaran Biaya	Rp. 17.881.000.000	Rp. 17.881.000.000

Pada Tabel 6.3, dapat dilihat bahwa tidak terdapat perbedaan pada setiap variable keputusan yang dihasilkan, sehingga dapat dikatakan bahwa nilai perbedaan sebesar 0 persen.

Jika dilihat dari kedua aplikasi yang digunakan untuk proses validasi hasil optimasi, hasil yang dikeluarkan dari kedua aplikasi memiliki keluaran yang sama. Apabila dihitung tingkat perbedaan keluaran yang dihasilkan memiliki nilai 0% dikarenakan hasil keluarannya sama. Jadi dapat disimpulkan bahwa aplikasi GIS yang digunakan dianggap valid dalam menyelesaikan model yang ada dan memenuhi tujuan yang diharapkan.

6.3. Analisis Hasil

Pada tahapan ini, analisis hasil akan dibagi menjadi dua, yaitu analisis hasil optimasi dan analisis sensitivitas. Analisis hasil optimasi berupa analisis hasil solusi optimal dari setiap variabel dan analisis ketercapaian tujuan dari optimasi. Pada analisis sensitivitas, hasil solusi optimal dianalisis untuk menguji seberapa sensitif solusi yang dihasilkan sampai solusi tersebut kehilangan optimalitasnya. Model analisis sensitivitas bermanfaat untuk menganalisis pengaruh perubahan yang terjadi pada parameter-parameter model, seperti nilai ruasan maupun fungsi tujuan terhadap solusi optimal yang telah dicapai.

6.3.1. Analisa Hasil Optimasi

Setelah rancangan aplikasi telah diperiksa terlebih dahulu dan bebas dari *bug* dan *error* serta dapat dijalankan dengan baik, maka hasil yang dikeluarkan merupakan hasil optimal yang dapat dijadikan rekomendasi dalam pengambilan keputusan. Berikut ini merupakan hasil yang dikeluarkan oleh aplikasi yang dilakukan dengan tiga kali percobaan. Kemudian dilihat bagaimana nilai perbedaan yang dihasilkan, sehingga dapat diketahui hasil dari target yang telah ditentukan sebelumnya.

a. Percobaan 1

Pada percobaan ini akan dilakukan uji coba optimasi menggunakan aplikasi dengan beberapa kondisi yang sudah ditentukan yaitu : luas area yang menjadi target potensial coverage area adalah seluas 520 km², tidak ada BTS di area tersebut, kapasitas *timeslot* yang dibutuhkan untuk area tersebut adalah minimal 500 *timeslot* dengan estimasi biaya yang dikeluarkan tidak melebihi Rp. 8.000.000.000.

b. Percobaan 2

Pada percobaan ini akan dilakukan uji coba optimasi menggunakan aplikasi dengan beberapa kondisi yang

sudah ditentukan yaitu : luas area yang menjadi target potensial coverage area adalah seluas 900 km^2 , tidak ada BTS di area tersebut, kapasitas *timeslot* yang dibutuhkan untuk area tersebut adalah minimal 750 *timeslot* dengan estimasi biaya yang dikeluarkan tidak melebihi Rp. 17.000.000.000.

c. Percobaan 3

Pada percobaan ini akan dilakukan uji coba optimasi menggunakan aplikasi dengan beberapa kondisi yang sudah ditentukan yaitu : luas area yang menjadi target potensial coverage area adalah seluas 1200 km^2 , terdapat beberapa BTS tipe *Macrocell* di area tersebut, kapasitas *timeslot* yang dibutuhkan untuk area tersebut adalah minimal 1450 *timeslot* dengan estimasi biaya yang dikeluarkan tidak melebihi Rp. 25.000.000.000.

Hasil Optimasi untuk percobaan 1 terdapat pada Gambar 6.1

Formulated Model :

```
\* x1 = BTS tipe Microcell *\n
\* x2 = BTS tipe Macrocell *\n

Maximize \ \ Fungsi Tujuan
obj: + 12.56 x1 + 78.5 x2

Subject To \ \ Batasan
area: + 12.56 x1 + 78.5 x2 >= 520
timeslot: + 120 x1 + 90 x2 >= 500
budget: + 409 x1 + 728 x2 <= 8000
```

INTEGER OPTIMAL SOLUTION FOUND

```
{"x1":1,"x2":10}
```

Tidak ada BTS di area tersebut

Sehingga, jumlah BTS yang diperlukan untuk meng-cover area tersebut adalah :

1 BTS tipe Microcell

10 BTS tipe Macrocell

Parameter	Target	Realisasi
Pengeluaran biaya	Rp. 8,000,000,000	Rp. 7,689,000,000
Cakupan area BTS	520 km ²	797.56 km ²
Jumlah timeslot	500 Timeslot	1020 Timeslot

Gambar 6.1. Hasil Keluaran Optimasi Percobaan 1

Dari hasil keluaran percobaan 1 pada Gambar 6.1, dapat dilihat bahwa aplikasi yang dibuat telah berhasil mencapai tujuan yang telah ditentukan dalam model yaitu memaksimalkan jangkauan untuk setiap variabel x_1 dan x_2 . Terlihat dari parameter pertama terkait coverage area dimana harus memaksimalkan jangkauan coverage area dan hasil dari optimasi menunjukan nilai yang lebih besar dari nilai target potensial coverave area yang sudah ditentukan sebelumnya oleh *user*. Pada parameter kedua terkait jumlah kapasitas *timeslot* yang harus lebih besar dari target yang sudah di tentukan sebelumnya, didapatkan total kapastias sejumlah 1020 *timeslot* dari target minimal kapastias *timeslot* yang ditentukan di awal adalah sejumlah 500 *timeslot*. Dan pada parameter ketiga terkait biaya dimana total biaya yang dikeluarkan tidak melebihi alokasi yang sudah diberikan yaitu Rp. 8.000.000.000 dan nilai yang di dapat adalah Rp. 7.689.000.000.

Hasil Optimasi untuk percobaan 2 terdapat pada Gambar 6.2

Formulated Model :

```
\* Decision Variable *\n
\* x1 = BTS tipe Microcell *\n
\* x2 = BTS tipe Macrocell *\n

Maximize \ \ Fungsi Tujuan
obj: + 12.56 x1 + 78.5 x2

Subject To \ \ Batasan
area: + 12.56 x1 + 78.5 x2 >= 900
timeslot: + 120 x1 + 90 x2 >= 750
```

INTEGER OPTIMAL SOLUTION FOUND
{"x1":0,"x2":23}

Tidak ada BTS di area tersebut

Sehingga, jumlah BTS yang diperlukan untuk meng-cover area tersebut adalah :

0 BTS tipe Microcell

23 BTS tipe Macrocell

Parameter	Target	Realisasi
Pengeluaran biaya	Rp. 17,000,000,000	Rp. 16,744,000,000
Cakupan area BTS	900 km ²	1805.5 km ²
Jumlah timeslot	750 Timeslot	2070 Timeslot

Gambar 6.2. Hasil Keluaran Optimasi Percobaan 2

Dari hasil keluaran percobaan 2 pada Gambar 6.2, dapat dilihat bahwa aplikasi yang dibuat telah berhasil mencapai tujuan yang telah ditentukan dalam model yaitu memaksimalkan jangkauan untuk setiap variabel x_1 dan x_2 . Terlihat dari parameter pertama terkait coverage area dimana harus memaksimalkan jangkauan

coverage area dan hasil dari optimasi menunjukkan nilai yang lebih besar dari nilai target potensial coverave area yang sudah ditentukan sebelumnya oleh *user*. Pada parameter kedua terkait jumlah kapasitas *timeslot* yang harus lebih besar dari target yang sudah di tentukan sebelumnya, didapatlah total kapastias sejumlah 2070 *timeslot* dari target minimal kapastias *timeslot* yang ditentukan di awal adalah sejumlah 750 *timeslot*. Dan pada parameter ketiga terkait biaya dimana total biaya yang dikeluarkan tidak melebihi alokasi yang sudah diberikan yaitu Rp. 17.000.000.000 dan nilai yang di dapat adalah Rp. 16.744.000.000.

Hasil Optimasi untuk percobaan ketiga terdapat pada Gambar 6.3

Formulated Model :

```
\* x1 = BTS tipe Microcell *\n\* x2 = BTS tipe Macrocell \*
```

Maximize \ \ Fungsi Tujuan

obj: + 12.56 x1 + 78.5 x2

Subject To \ \ Batasan

area: + 12.56 x1 + 78.5 x2 >= 1200

timeslot: + 120 x1 + 90 x2 >= 1450

budget: + 409 x1 + 728 x2 <= 25000

INTEGER OPTIMAL SOLUTION FOUND

{"x1":0,"x2":34}

BTS yang sudah ada pada area tersebut :

2 BTS tipe Macrocell

Sehingga, jumlah BTS yang diperlukan untuk meng-cover area tersebut adalah :

0 BTS tipe Microcell

32 BTS tipe Macrocell

Parameter	Target	Realisasi
Pengeluaran biaya	Rp. 25,000,000,000	Rp. 23,296,000,000
Cakupan area BTS	1200 km ²	2669 km ²
Jumlah timeslot	1450 Timeslot	3060 Timeslot

Gambar 6.3. Hasil Keluaran Optimasi Percobaan 3

Dari hasil keluaran percobaan 3 pada Gambar 6.3, dapat dilihat bahwa aplikasi yang dibuat telah berhasil mencapai tujuan yang telah ditentukan dalam model yaitu memaksimalkan jangkauan untuk setiap variabel x_1 dan x_2 . Terlihat dari parameter pertama terkait coverage area dimana harus memaksimalkan jangkauan coverage area dan hasil dari optimasi menunjukkan nilai yang lebih besar dari nilai target potensial coverave area yang sudah ditentukan sebelumnya oleh *user*. Pada parameter kedua terkait jumlah kapasitas *timeslot* yang harus lebih besar dari target yang sudah di tentukan sebelumnya, didapatlah total kapastias sejumlah 3060 *timeslot* dari target minimal kapastias *timeslot* yang ditentukan di awal adalah sejumlah 1450 *timeslot*. Dan pada parameter ketiga terkait biaya dimana total biaya yang dikeluarkan tidak melebihi alokasi yang sudah diberikan yaitu Rp. 25.000.000.000 dan nilai yang di dapat adalah Rp. 23.296.000.000. Sedikit berbeda dengan percobaan 1 dan percobaan 2, pada percobaan 3 disini terdapat kondisi dimana area tersebut sudah terdapat 2 BTS tipe *Macrocell* sebelumnya, sehingga hasil optimasi menjadi dikurangi sejumlah BTS yang sudah ada.

Berdasarkan hasil dari tiga percobaan yang sudah dilakukan sebelumnya, dapat dikatakan bahwa model dan aplikasi menunjukkan hasil nilai yang konsisten karena berdasarkan tiga percobaan yang sudah dilakukan hasilnya menunjukkan nilai

yang sesuai dengan fungsi tujuan dan tidak melanggar batasan yang sudah ditentukan.

6.3.2. Analisis Sensitivitas

Setelah ditemukan penyelesaian yang optimal dari dari aplikasi, selanjutnya akan dilakukan analisis sensitivitas. Analisis sensitivitas merupakan analisa yang berkaitan dengan perubahan parameter untuk menilai seberapa besar perubahan dapat ditolerir sebelum solusi optimal mulai kehilangan optimalitasnya. Jika suatu perubahan kecil dalam parameter menyebabkan perubahan drastis dalam solusi, maka dikatakan bahwa solusi adalah sensitif terhadap nilai parameter itu. Sebaliknya, jika perubahan parameter tidak mempunyai pengaruh besar terhadap solusi, maka dapat dikatakan bahwa solusi relatif insentif terhadap nilai parameter tersebut.

Analisis sensitivitas dilakukan pada nilai ruas kanan (RHS) pada semua kendala atau batasan karena nilai ruas kanan pada batasan adalah nilai yang cenderung akan selalu mengalami perubahan. Berdasarkan hasil percobaan perhitungan dengan menggunakan aplikasi *QM for Windows*, ditemukan hasil analisis sensitivitas seperti pada Tabel 6.4.

Tabel 6.4. Hasil Analisis Sensitivitas

Percobaan ke -	Batasan	Nilai Standar (original value)	Batas Bawah (lower bound)	Batas Atas (upper bound)
1	Luas Area (S1)	520	> 0	< 863
	Kapasitas (S2)	500	> 0	< 989
	Biaya (S3)	8000	> 4822	Tak Terbatas

2	Luas Area (S1)	900	> 0	< 1833
	Kapasitas (S2)	750	> 0	< 2101
	Biaya (S3)	17000	8346	Tak Terbatas
3	Luas Area (S1)	1200	> 0	< 2696
	Kapasitas (S2)	1450	> 0	< 3091
	Biaya (S3)	25000	> 11729	Tak Terbatas

Berdasarkan hasil perhitungan analisis sensitivitas pada Tabel 6.4, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa :

1. Berdasarkan Percobaan 1

- Pada S1 diketahui nilai standarnya untuk luas potensial coverage area adalah 520, bila dilakukan perubahan fungsi batasan maka minimal nilai yang bisa diubah agar tetap menghasilkan nilai yang optimal adalah lebih besar nol dan nilai maksimalnya adalah 863.
- Pada S2 diketahui nilai standarnya untuk kapasitas *timeslot* adalah 500, bila dilakukan perubahan fungsi batasan maka minimal nilai yang bisa diubah agar tetap menghasilkan nilai yang optimal adalah lebih besar nol dan nilai maksimalnya adalah 989.
- Pada S3 diketahui nilai standarnya untuk biaya adalah 8000, bila dilakukan perubahan fungsi batasan maka minimal nilai yang bisa diubah agar

tetap menghasilkan nilai yang optimal adalah 4822 dan nilai maksimalnya adalah tak terbatas (*infinity*).

2. Berdasarkan Percobaan 2

- Pada S1 diketahui nilai standarnya untuk luas potensial coverage area adalah 900, bila dilakukan perubahan fungsi batasan maka minimal nilai yang bisa diubah agar tetap menghasilkan nilai yang optimal adalah lebih besar nol dan nilai maksimalnya adalah 1833.
- Pada S2 diketahui nilai standarnya untuk kapasitas *timeslot* adalah 750, bila dilakukan perubahan fungsi batasan maka minimal nilai yang bisa diubah agar tetap menghasilkan nilai yang optimal adalah lebih besar nol dan nilai maksimalnya adalah 2101.
- Pada S3 diketahui nilai standarnya untuk biaya adalah 17000, bila dilakukan perubahan fungsi batasan maka minimal nilai yang bisa diubah agar tetap menghasilkan nilai yang optimal adalah 8346 dan nilai maksimalnya adalah tak terbatas (*infinity*).

3. Berdasarkan Percobaan 3

- Pada S1 diketahui nilai standarnya untuk luas potensial coverage area adalah 1200, bila dilakukan perubahan fungsi batasan maka minimal nilai yang bisa diubah agar tetap menghasilkan nilai yang optimal adalah lebih besar nol dan nilai maksimalnya adalah 2696.
- Pada S2 diketahui nilai standarnya untuk kapasitas *timeslot* adalah 1450, bila dilakukan perubahan fungsi batasan maka minimal nilai yang bisa diubah agar tetap menghasilkan nilai yang optimal adalah lebih besar nol dan nilai maksimalnya adalah 3091.

- Pada S3 diketahui nilai standarnya untuk biaya adalah 25000, bila dilakukan perubahan fungsi batasan maka minimal nilai yang bisa diubah agar tetap menghasilkan nilai yang optimal adalah 11729 dan nilai maksimalnya adalah tak terbatas (*infinity*).

Berdasarkan hasil analisa tersebut maka dapat diketahui perubahan - perubahan yang dapat dilakukan oleh perusahaan terkait perubahan nilai pada fungsi tujuan atau fungsi kendala dalam memaksimalkan jangkauan dari coverage BTS, sehingga perusahaan tidak akan mengalami kerugian apabila perusahaan melakukan perubahan pada fungsi kendala atau batasannya.

6.3.3. Analisa Hasil Uji Sensitivitas

Setelah dilakukan analisis sensitivitas, selanjutnya adalah melakukan analisa terhadap hasil uji sensitivitas dari nilai yang di dapat sebelumnya. Tujuannya adalah untuk mengetahui apakah model dan aplikasi masih dapat memberikan hasil nilai yang optimal jika terjadi perubahan nilai pada setiap batasan di bagian nilai ruas kanan (RHS). Perubahan nilai yang dilakukan adalah dengan mempertimbangkan kondisi pada perusahaan. Jika terdapat suatu kondisi dimana perusahaan diharuskan untuk merubah nilai ruas kanan (RHS) dengan nilai pesimis yang masih dalam rentan nilai batas bawah (*lower bound*) dan batas atas (*upper bound*) pada setiap batasan pada model.

Pada Tabel 6.5 dapat dilihat hasil dari perubahan nilai ruas kanan (RHS) pada setiap batasan menggunakan nilai pesimis untuk Percobaan ke-1.

Tabel 6.5. Analisa Hasil Uji Sensitivitas Percobaan-1

Jenis Parameter	Batas Bawah (<i>lower bound</i>)	Batas Atas (<i>upper bound</i>)	Nilai Pesimis (<i>pessimistic value</i>)	Nilai Fungsi Tujuan (Jangkauan)
Luas Area	> 0	< 863	350	549,5
Kapasitas	> 0	< 989	450	
Biaya	> 4822	Tak Terbatas	5500	

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 6.5, dapat dilihat bahwa ketika nilai ruas kanan (RHS) pada setiap batasan dirubah menjadi nilai yang lebih kecil dari nilai asli pada model sebelumnya. Didapatlah hasil nilai fungsi tujuannya adalah 549,5 km² dimana nilai tersebut adalah lebih besar dari nilai pesimis yang diberikan yaitu 350 km². Hasil tersebut menunjukkan bahwa aplikasi yang dibuat telah berhasil mencapai tujuan yang telah ditentukan dalam model yaitu memaksimalkan jangkauan.

Pada Tabel 6.6 dapat dilihat hasil dari perubahan nilai ruas kanan (RHS) pada setiap batasan menggunakan nilai pesimis untuk Percobaan ke-2.

Tabel 6.6. Analisa Hasil Uji Sensitivitas Percobaan-2

Jenis Parameter	Batas Bawah (<i>lower bound</i>)	Batas Atas (<i>upper bound</i>)	Nilai Pesimis (<i>pessimistic value</i>)	Nilai Fungsi Tujuan (Jangkauan)
Luas Area	> 0	< 1833	780	942
Kapasitas	> 0	< 2101	650	

Biaya	8346	Tak Terbatas	9000	
-------	------	--------------	------	--

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 6.6, dapat dilihat bahwa ketika nilai ruas kanan (RHS) pada setiap batasan dirubah menjadi nilai yang lebih kecil dari nilai asli pada model sebelumnya. Didapatlah hasil nilai fungsi tujuannya adalah 942 km² dimana nilai tersebut adalah lebih besar dari nilai pesimis yang diberikan yaitu 780 km². Hasil tersebut menunjukkan bahwa aplikasi yang dibuat telah berhasil mencapai tujuan yang telah ditentukan dalam model yaitu memaksimalkan jangkauan.

Pada Tabel 6.7 dapat dilihat hasil dari perubahan nilai ruas kanan (RHS) pada setiap batasan menggunakan nilai pesimis untuk Percobaan ke-3.

Tabel 6.7. Analisa Hasil Uji Sensitivitas Percobaan-3

Jenis Parameter	Batas Bawah (lower bound)	Batas Atas (upper bound)	Nilai Pesimis (pessimistic value)	Nilai Fungsi Tujuan (Jangkauan)
Luas Area	> 0	< 2696	1000	1334,5
Kapasitas	> 0	< 3091	1150	
Biaya	> 11729	Tak Terbatas	12500	

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 6.7, dapat dilihat bahwa ketika nilai ruas kanan (RHS) pada setiap batasan dirubah menjadi nilai yang lebih kecil dari nilai asli pada model sebelumnya. Didapatlah hasil nilai fungsi tujuannya adalah 1334,5 km² dimana nilai tersebut adalah lebih besar dari nilai

pesimis yang diberikan yaitu 1000 km². Hasil tersebut menunjukkan bahwa aplikasi yang dibuat telah berhasil mencapai tujuan yang telah ditentukan dalam model yaitu memaksimalkan jangkauan.

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bagian ini berisi kesimpulan dari semua proses yang telah dilakukan dalam tugas akhir serta saran yang dapat diberikan untuk pengembangan kedepannya yang lebih baik.

7.1. Kesimpulan

Berdasarkan uji coba yang telah dilakukan dalam tugas akhir ini, maka kesimpulan yang dapat diambil adalah :

1. Metode *Integer Linear Programming* dapat digunakan sebagai alternatif dalam menyelesaikan permasalahan terkait penentuan jumlah BTS yang harus dibangun oleh perusahaan, dengan mengoptimalkan jangkauan area dari setiap BTS, sehingga dapat mencapai hasil paling optimal.
2. Model *Integer Linear Programming* yang ditemukan dapat menyelesaikan permasalahan pada studi kasus, ditandai dengan tercapainya seluruh tujuan yang sudah ditentukan sebelumnya.
3. *Haversine Formula* dapat dijadikan alternatif pengganti *GPS/Sattelite* untuk menghitung luas suatu area pada peta *Google Maps*.
4. Proses validasi dengan menggunakan model *Integer Linear Programming* yang sama pada program aplikasi yang berbeda menghasilkan nilai perbedaan sebesar 0 persen. Hal tersebut menandakan bahwa model yang dibuat telah valid.
5. Berdasarkan analisis sensitivitas yang telah dilakukan, dapat diketahui perubahan - perubahan nilai pada fungsi tujuan atau fungsi kendala dengan tetap diperoleh tujuan yang optimal. Oleh karena itu, dengan adanya analisis sensitivitas, PT. Telekomunikasi Seluler

(Telkomsel) Divisi *Service Quality Assurance* Regional Jawa Tengah & DIY - Semarang mempunyai ukuran yang dapat dijadikan standar dalam penentuan nilai terkait luas potensial coverage area, kapasitas *timeslot* dan biaya pembangunan BTS yang diperlukan dalam proses pengambilan keputusan.

7.2. Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan proses uji coba, penarikan kesimpulan, dan batasan masalah dari tugas akhir ini adalah :

1. Pada penelitian ini, data BTS yang digunakan adalah data pada tahun 2016. Sangat disarankan untuk penelitian selanjutnya menggunakan data BTS terbaru agar hasil yang diberikan lebih akurat.
2. Penelitian ini hanya menggunakan data BTS untuk area Jawa Tengah saja. Agar penggunaan dari aplikasi lebih maksimal, sangat disarankan agar menambah atau menggunakan data BTS yang lebih besar. Seperti data BTS untuk seluruh Pulau Jawa, Sumatra, Kalimantan, Sulawesi dan Papua.
3. Penelitian ini hanya melibatkan data BTS untuk tipe jaringan GSM (2G) saja, sangat disarankan agar melibatkan data BTS untuk tipe jaringan yang lebih tinggi seperti UMTS (3G), HSDPA (3,5G) dan LTE (4G).
4. Aplikasi optimasi BTS ini dapat dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman lain seperti Java dan C/C++ menyesuaikan dengan kebutuhan perusahaan.

Daftar Pustaka

- [1] Iskandar, “Tren Telepon Seluler Diawali dengan Teknologi GSM,” Tekno Liputan 6, 2013. [Online]. Available: <http://tekno.liputan6.com/read/751928/>. [Diakses 13 Februari 2017].
- [2] M. Soni, “Akhir 2011 Pemakai Ponsel 250 Juta Orang,” TRIBUNLAMPUNG.co.id, 13 Januari 2012. [Online]. Available: <http://lampung.tribunnews.com/2012/01/13/akhir-2011pemakai-ponsel-250-juta-orang>. [Diakses 19 Februari 2017].
- [3] Martin, “BTS berfungsi Penerima dan Pengirim Sinyal Komunikasi,” Tribun Lampung, 29 September 2011. [Online]. Available: <http://lampung.tribunnews.com/2011/09/29/bts-berfungsi-penerima-dan-pengirim-sinyal-komunikasi>. [Diakses 13 Februari 2017].
- [4] Telkomsel, “Profil Perusahaan,” Telkomsel, [Online]. Available: <http://www.telkomsel.com/about/corporate>. [Diakses 22 Januari 2017].
- [5] M. Nursam, “Tingkatkan Kapasitas dan Kualitas Jaringan, Telkomsel Siapkan 723 BTS Baru di Seluruh Indonesia,” Fajar Online, 14 Desember 2016. [Online]. Available: <http://fajaronline.com/rubrik/tingkatkan-kapasitas-dan-kualitas-jaringan-telkomsel-siapkan-723-bts->

- baru-di-seluruh-indonesia. [Diakses 13 Februari 2017].
- [6] N. Hidayat, “optimasi dengan menggunakan atau mengalokasian input yang sudah ditentukan untuk mendapatkan keuntungan yang maksimal,” *Jurnal Skripsi Universitas Islam Kalijaga*, 2013.
 - [7] R. Ravindran, *Operations Research Calculations Handbook*, USA: Dept. of Industrial & Manufacturing Engineering The Pennsylvania State University, 2009.
 - [8] W. A. S. N. L. Nafisa As Sofia, “MODEL LINEAR GOAL PROGRAMMING UNTUK MENENTUKAN KAPASITAS TRAFIK BTS PADA SISTEM TELEKOMUNIKASI SELULER GSM,” *Jurnal Tugas Akhir Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknik Universitas Jenderal Soedirman*, 2014.
 - [9] A. Nugroho, Interviewee, *Engineer Service Quality Assurance at Telkomsel*. [Wawancara]. 26 Januari 2017.
 - [10] Johans, “PENGERTIAN GSM (GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATION),” Blog Mahasiswa Akademi Telkom Jakarta, 13 Desember 2013. [Online]. Available: <http://johans.student.akademitelkom.ac.id/index.php/2013/12/13/pengertian-gsm-global-system-for-mobile-communication/>. [Diakses 13 Februari 2017].
 - [11] Y. F. Y. D. L. W. Ariyasti Ulfa, “Sistem Pendukung Keputusan Penentuan Lokasi BTS menggunakan

metode Promethee,” *Jurnal Jurusan Komputer Politeknik Caltex Riau*, 2010.

- [12] U. o. S. Glasgow, “Base Transceiver Station,” MSc Renewable Energy Systems and the Environment Group Project, 2011. [Online]. Available: http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/10-11/Mobile_mast/bts.htm. [Diakses 22 Januari 2017].
- [13] M. N. C. GIRI, “Cell tower, BTS & antennas,” SlideShare, 13 Desember 2014. [Online]. Available: <http://www.slideshare.net/nimay1/cell-tower-bts-antennas>. [Diakses 22 Januari 2017].
- [14] D. Riyantoro, Interviewee, *Transport Performance Assurance at Telkomsel*. [Wawancara]. 17 April 2017.
- [15] M. T. Scripts, “Calculate distance, bearing and more between Latitude/Longitude points,” Movable Type Scripts, [Online]. Available: <http://www.movable-type.co.uk/scripts/latlong.html>. [Diakses 22 Januari 2017].
- [16] F. Nustyani, “https://www.academia.edu/9403460/SISTEM_KOORDINAT_DAN_PROYEKSI_PETA,” Academia.edu, 2013. [Online]. Available: https://www.academia.edu/9403460/SISTEM_KOORDINAT_DAN_PROYEKSI_PETA. [Diakses 27 Januari 2017].
- [17] A. Aini, “SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS PENGERTIAN DAN APLIKASINYA,” *Staff Pengajar STMIK AMIKOM Yogyakarta*, 2014.

- [18] M. Tumimomor, "SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS PARIWISATA KOTA KUPANG," *Jurnal Nasional Pendidikan Teknik Informatika (JANAPATI)*, 2013.
- [19] S. Chapra dan R. Canale, *Numerical Methods for Engineer* 2nd Edition, New York: McGraw-Hill Book, 1990.
- [20] E. SUSILOWATI, "PENENTUAN LOKASI BASETRANSCEIVER STATION (BTS) BERSAMA DI KOTA SURAKARTA DENGAN MODEL SET COVERING PROBLEM," *Jurnal Tugas Akhir*, 2010.
- [21] R. TS, "Cellular radio and personal communications: Advanced selected readings," Piscataway, NJ:, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 1996, p. 542.

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Jakarta pada tanggal 30 November 1995. Merupakan anak ke-empat dari 4 bersaudara. Penulis telah menempuh beberapa pendidikan formal yaitu; SDIT 02 Jakarta, SMPN 92 Jakarta dan SMAN 36 Jakarta.

Pada tahun 2013 pasca kelulusan SMA, penulis melanjutkan pendidikan melalui jalur PKM di Departemen Sistem Informasi FTIf – Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dan terdaftar sebagai mahasiswa dengan NRP 5213100171. Pada Juni 2016, penulis mendapatkan kesempatan untuk magang di PT. Telekomunikasi Selular (Telkomsel) Regional Jawa Tengah – DIY di Semarang selama 3 bulan.

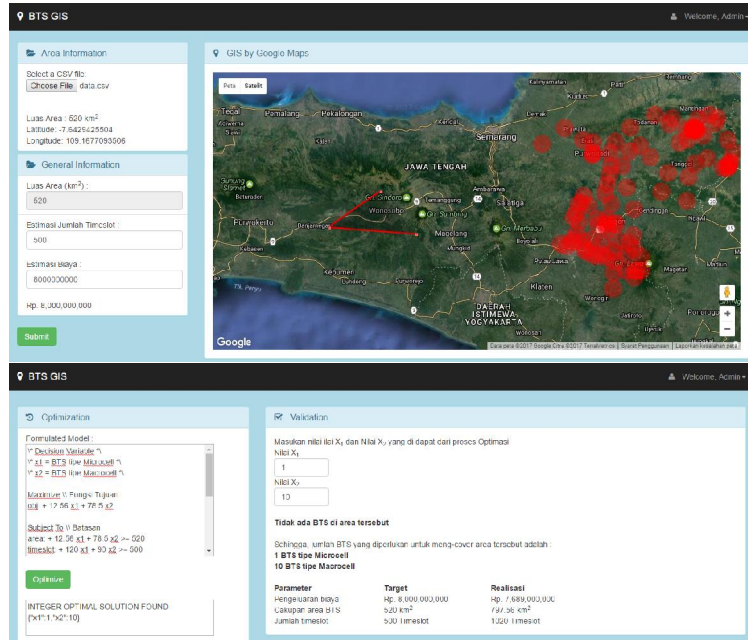
Penulis mengambil bidang minat Rekayasa Data dan Inteligencia Bisnis (RDIB) di Departemen Sistem Informasi ITS. Penulis dapat dihubungi melalui *email* mr.maulana8@gmail.com.

Halaman ini sengaja dikosongkan

Lampiran A

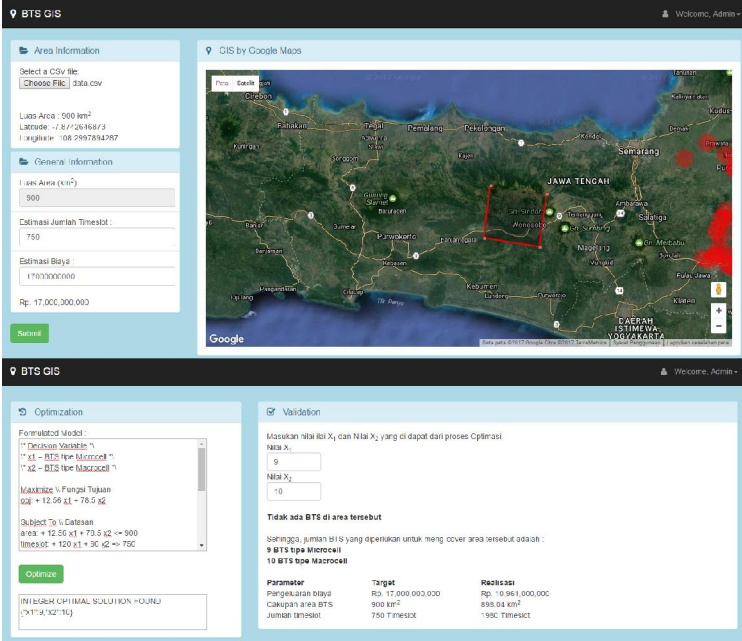
Hasil Uji Coba Aplikasi

Percobaan 1



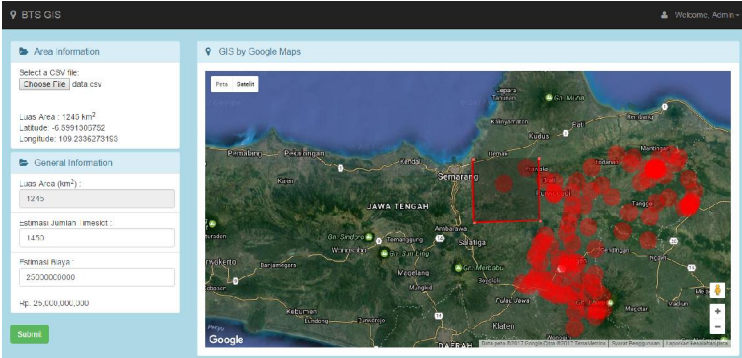
Gambar 9.1. Hasil Percobaan 1

Percobaan 2



Gambar 9.2. Hasil Percobaan 2

Percobaan 3



BTS GIS

Welcome Admin

Optimization

Formulated Model:

"x1 = BTS tipe Macrocell"

"x2 = BTS tipe Microcell"

Maximize %Tinggi Tujuan

obj + 12.56 x1 + 76.5 x2

Output To: Barisan

area : 12.56 x1 + 76.5 x2 <= 1200

timeslot : 120 x1 + 90 x2 <= 1450

budget : 409 x1 + 728 x2 <= 26000

Optimize

INTERIOR OPTIMAL SOLUTION FOUND

(x1:8 *x2:14)

Validation

Masukan nilai x1 x2 dan nilai x2 yang di dapat dari proses Optimasi

Nilai x1

8

Nilai x2

14

BTS yang sudah ada pada area tersebut:

2 BTS tipe Macrocell

Sehingga jumlah BTS yang diperlukan untuk memenuhi area tersebut adalah:

8 BTS tipe Microcell

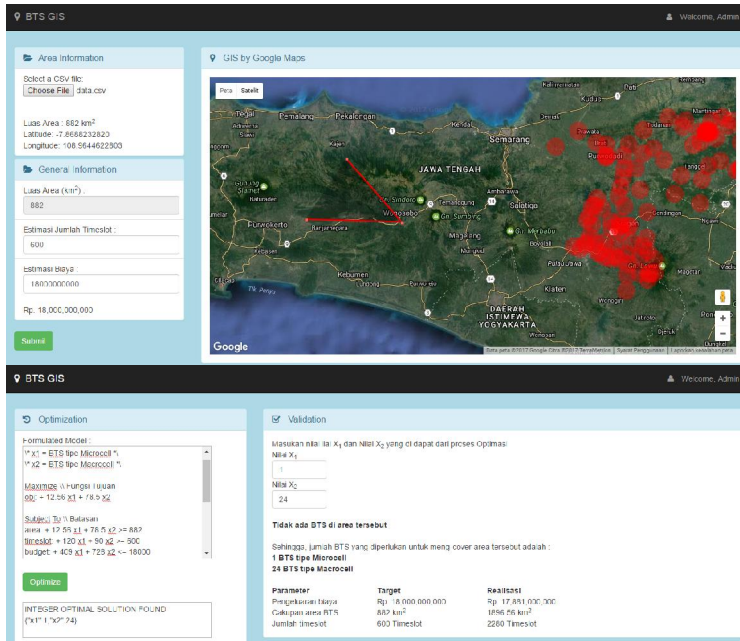
12 BTS tipe Macrocell

Parameter	Target	Realisasi
Pengeluaran biaya	Rp. 25.000.000.000	Rp. 12.058.800.000
Capaian area BTS	1200 km ²	1199.40 km ²
Jumlah timeslot	1450 Timeslot	2220 Timeslot

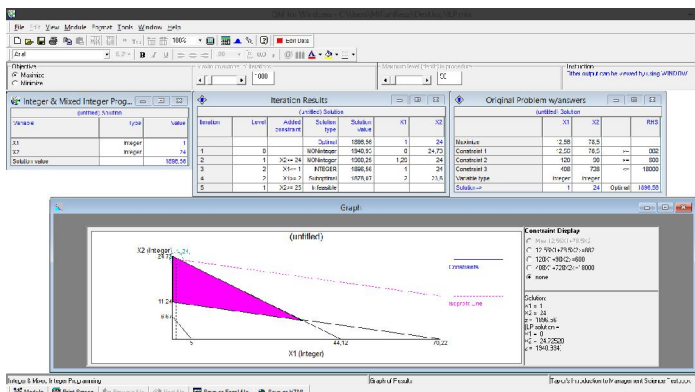
Gambar 9.3. Hasil Percobaan 3

Lampiran B

Hasil Validasi menggunakan Aplikasi



Hasil Validasi menggunakan QM for Windows



Lampiran C

Data yang digunakan dalam pengerjaan Tugas Akhir

Tabel 11.1. Data Pemetaan Lokasi BTS

No	Site ID	Site Name	Latitude	Longitude	Azimuth	BTS Type	Site Type	Tower Type	Height (m)
1	4723-24361	Asemrundung	-7,19392	111,00012	0	2G	Macro	SST - 4 Legged	58
2	4691-24371	Baleharjo Sragen	-7,2857	110,97778	75	2G	Macro	SST - 3 Legged	52
3	4630-45851	Balong Jenawi	-7,556277778	111,1232222	190	2G	Macro	SST - 4 Legged	54
4	4617-40262	Balongrejo	-7,01936	111,38622	70	2G	Macro	SST - 4 Legged	59
5	4609-25165	Balun Blora	-7,16091	111,58572	200	2G	Macro	SST - 3 Legged	55

6	4606-61422	Bandungsari Wirosari	-7,04984	111,15161	270	2G	Macro	SST - 3 Legged	57
7	4693-61433	Bangleyan Jati	-7,27469	111,25642	0	2G	Macro	SST - 4 Legged	57
8	4620-27444	Bangle	-6,97092	111,4369	90	2G	Macro	SST - 3 Legged	51
9	4609-40895	Bangle 2	-6,97153	111,43092	180	2G	Macro	SST - 4 Legged	54
10	4601-24382	Bangsri Grobogan	-7,24104	110,98895	90	2G	Macro	SST - 3 Legged	60
11	4603-8302	Banjarejo	-7,034543	111,347029	190	2G	Macro	SST - 3 Legged	58
12	4605-23673	Banjarejo Grobogan	-7,10639	111,203	300	2G	Macro	SST - 3 Legged	54
13	4703-12743	Barakan	-7,663222222	111,0836111	50	2G	Macro	SST - 4 Legged	58
14	4705-30376	Baturan	-7,54319429	110,789886	125	2G	Macro	SST - 4 Legged	55

15	4630-9442	Bayanan	-7,4895833	111,11775	195	2G	Macro	SST - 3 Legged	52
16	4718-25553	Bedingin	-6,89785	111,22573	60	2G	Macro	SST - 4 Legged	60
17	4693-58993	Bedoro	-7,36258	111,12097	150	2G	Macro	SST - 3 Legged	55
18	4681-22623	Bentak	-7,441931	110,942656	320	2G	Macro	SST - 4 Legged	53
19	4703-18512	Beruk	-7,69553	111,124	120	2G	Macro	SST - 3 Legged	58
20	4620-30635	Bhayangkara	-6,96497	111,42707	210	2G	Macro	SST - 4 Legged	50
21	4609-19382	Biting Sambong	-7,08155	111,61264	300	2G	Macro	SST - 4 Legged	60
22	4620-41302	Blora	-6,972571	111,420135	90	2G	Macro	SST - 3 Legged	54
23	4620-31105	Blora 2	-6,96489	111,4135	185	2G	Macro	SST - 4 Legged	53

24	4620-37255	Blora 3	-6,97753	111,4101	290	2G	Macro	SST - 4 Legged	52
25	4620-51163	Blora Barat	-6,966861111	111,3800556	35	2G	Macro	SST - 4 Legged	53
26	4620-8132	Blora Inner	-6,915	111,4386111	180	2G	Macro	SST - 3 Legged	55
27	4620-35735	Blora STO	-6,96938	111,415	280	2G	Macro	SST - 4 Legged	50
28	4602-17442	Bogem	-6,91299	111,30969	25	2G	Macro	SST - 3 Legged	53
29	4617-8312	Bogorejo	-6,94058333	111,5221667	130	2G	Macro	SST - 3 Legged	54
30	4617-25562	Bogorejo 2	-6,91315	111,53614	200	2G	Macro	SST - 3 Legged	54
31	4630-56593	Botok	-7,513169444	111,0419472	100	2G	Macro	SST - 3 Legged	55
32	4623-53943	Brati	-7,0222	110,8685	140	2G	Macro	SST - 3 Legged	50

33	4620-53202	Candi Ceto	-7,594472222	111,1558056	240	2G	Macro	SST - 3 Legged	56
34	4702-28883	Cepu Kota	-7,14426	111,5919	100	2G	Macro	SST - 3 Legged	57
35	4718-57282	Colomadu	-7,532756	110,757802	210	2G	Macro	SST - 3 Legged	59
36	4893-15342	Dayu Park	-7,461305556	110,9914444	270	2G	Macro	SST - 4 Legged	59
37	4609-47923	Desa Banjarharjo	-7,511558	110,910682	90	2G	Macro	SST - 4 Legged	58
38	4609-40465	Desa Pagak	-7,34502	110,89795	240	2G	Macro	SST - 4 Legged	54
39	4609-59026	Doplang	-7,183361111	111,2898056	320	2G	Macro	SST - 4 Legged	57
40	4609-25203	Galeh	-7,25482	111,08559	90	2G	Macro	SST - 4 Legged	53
41	4616-63822	Galuk	-7,111138889	111,485	170	2G	Macro	SST - 3 Legged	56

42	4628-43122	Gatot Subroto	-6,97166	111,40708	280	2G	Macro	SST - 4 Legged	55
43	4723-55981	Gaum	-7,5818	110,96087	60	2G	Macro	SST - 4 Legged	52
44	4616-20872	Gawan	-7,409169	110,94083	170	2G	Macro	SST - 3 Legged	59
45	4681-44431	Gayamdompo	-7,618666667	111,0249444	250	2G	Macro	SST - 4 Legged	53
46	4601-64525	Gemolong	-7,40164	110,823	50	2G	Macro	SST - 3 Legged	50
47	4681-4761	Genengan	-7,67219	111,02094	210	2G	Macro	SST - 4 Legged	60
48	4692-25632	Gentungan Pojoyok	-7,5292	110,96409	300	2G	Macro	SST - 3 Legged	54
49	4692-25633	Gesi	-7,334944444	111,0082222	90	2G	Macro	SST - 4 Legged	59
50	4612-8363	Getas Blora	-7,320057	111,383677	180	2G	Macro	SST - 3 Legged	56

51	4681-29112	Getas Cepu	-7,15067	111,57838	280	2G	Macro	SST - 4 Legged	54
52	4606-21483	Giri Margo DMT	-7,38204	110,83324	30	2G	Macro	SST - 3 Legged	59
53	4693-19072	Girimargo Sumberlawang	-7,3351	110,847	120	2G	Macro	SST - 4 Legged	53
54	4612-18052	Glugu Purwodadi	-7,08968	110,92034	210	2G	Macro	SST - 3 Legged	58
55	4893-19963	Godan	-7,029833	111,029925	90	2G	Macro	SST - 3 Legged	54
56	4620-57715	Gondang Rejo	-7,50997222	110,81975	210	2G	Macro	SST - 4 Legged	55
57	4674-21102	Gondosuli	-7,662908	111,158255	300	2G	Macro	SST - 4 Legged	60
58	4691-54333	Grobogan	-7,03155	110,919895	70	2G	Macro	SST - 3 Legged	55
59	4674-11263	Gubug Tegowara	-7,041095	110,666679	190	2G	Macro	SST - 4 Legged	51

60	4692-41922	Jambanan	-7,41002	110,98616	290	2G	Macro	SST - 4 Legged	60
61	4692-34092	Jambon	-7,148913	111,007577	60	2G	Macro	SST - 4 Legged	50
62	4674-21092	Janjang	-7,018472222	111,5844444	150	2G	Macro	SST - 4 Legged	51
63	4681-31532	Japah	-6,943546	111,296509	270	2G	Macro	SST - 3 Legged	50
64	4703-54342	Jaten	-7,582583333	110,9109167	60	2G	Macro	SST - 4 Legged	60
65	4693-9423	Jatiharjo	-7,14944	111,06362	140	2G	Macro	SST - 4 Legged	54
66	4692-11052	Jatipuro	-7,751277778	111,0175833	280	2G	Macro	SST - 3 Legged	55
67	4612-28902	Jatirejo Karanganyar	-7,582111111	111,0854444	60	2G	Macro	SST - 4 Legged	60
68	4609-38615	Jenangan Klambu	-6,96352	110,779	160	2G	Macro	SST - 4 Legged	56

69	4601-9112	Jetak Sidoharjo	-7,43955556	110,9808611	300	2G	Macro	SST - 4 Legged	51
70	4692-24691	Jetis Karanganyar	-7,55717	110,88298	30	2G	Macro	SST - 3 Legged	50
71	4692-27365	Jetis Sragen	-7,52975	111,099417	170	2G	Macro	SST - 4 Legged	51
72	4616-64912	Kalisari Randublatung	-7,13823	111,42305	310	2G	Macro	SST - 3 Legged	50
73	4606-4952	Karang Asem	-6,960841	111,10312	90	2G	Macro	SST - 3 Legged	55
74	4600-41863	Karanganyar Barat	-7,51727	110,86784	160	2G	Macro	SST - 4 Legged	57
75	4707-50473	Karanganyar Purwodadi	-7,083997	110,916933	210	2G	Macro	SST - 4 Legged	58
76	4693-6522	Karangjati	-6,958388889	111,4246944	0	2G	Macro	SST - 4 Legged	54
77	4703-8852	Mojogedang	-7,571888889	111,0220556	150	2G	Macro	SST - 3 Legged	60

78	4628-19993	Mulyo Rejo	-7,160205	111,561918	260	2G	Macro	SST - 4 Legged	53
79	4623-7152	Mungkung Sragen	-7,431161	110,989979	0	2G	Macro	SST - 4 Legged	58
80	4622-52313	Ngargosari	-7,29629337	110,8722226	120	2G	Macro	SST - 4 Legged	50
81	4622-41852	Nglorog	-7,000777778	111,462	240	2G	Macro	SST - 4 Legged	51
82	4606-17032	Palur	-7,56514	110,877674	10	2G	Macro	SST - 4 Legged	50
83	4692-25632	Pasar Tawangmangu	-7,663819	111,135862	140	2G	Macro	SST - 4 Legged	58
84	4692-25633	Pertamina Cepu	-7,135035	111,596228	245	2G	Macro	SST - 4 Legged	55
85	4612-8363	Perum Migas Cepu	-7,12908	111,59705	60	2G	Macro	SST - 4 Legged	56
86	4681-29112	Purwodadi	-7,09611111	110,9141667	270	2G	Macro	SST - 3 Legged	60

87	4606-21483	Randublatung	-7,203916667	111,3923611	270	2G	Macro	SST - 3 Legged	53
88	4693-19072	Rejosari Karanganyar	-7,48426	110,83564	60	2G	Macro	SST - 3 Legged	56
89	4612-18052	Ring Road Sragen	-7,43315	111,03499	160	2G	Macro	SST - 3 Legged	54
90	4893-19963	Samsat Karanganyar	-7,591908	110,936226	310	2G	Macro	SST - 3 Legged	59
91	4620-57715	Soko Semarang	-6,896555556	111,4934167	120	2G	Macro	SST - 3 Legged	55
92	4674-21102	Sragen	-7,431142	111,023395	230	2G	Macro	SST - 3 Legged	53
93	4691-54333	Sumber Lawang	-7,328972222	110,8624167	300	2G	Macro	SST - 3 Legged	50
94	4674-11263	Tawangharjo	-7,086075	111,002812	0	2G	Macro	SST - 3 Legged	56
95	4692-41922	Tawangmangu	-7,66522	111,128	90	2G	Macro	SST - 3 Legged	51

96	4692-34092	Tegalsari Karanganyar	-7,59556	110,984294	300	2G	Macro	SST - 3 Legged	50
97	4674-21092	Telkom Cepu	-7,149757	111,590293	0	2G	Macro	SST - 3 Legged	52
98	4681-31532	Wirosari	-7,076273	111,097833	90	2G	Macro	SST - 3 Legged	53
99	4703-54342	Wonorejo Karanganyar	-7,52276	110,81235	180	BTS- 2G	Macro	SST - 3 Legged	54
100	4693-9423	Wonoroto	-7,423526	110,84827	90	BTS- 2G	Macro	SST - 3 Legged	59

Lampiran D

Data masukan aplikasi dalam bentuk CSV

Tabel 12.1. Data masukan aplikasi dalam bentuk CSV

Name	Type BTS	Power Radius	Lat	Long
Asemrundung	2G	5	-7.19392	111.00012
Baleharjo Sragen	2G	5	-7.2857	110.97778
Balong Jenawi	2G	5	-7.556277778	111.1232222
Balongrejo	2G	5	-7.01936	111.38622
Balun Blora	2G	5	-7.16091	111.58572
Bandungsari Wirosari	2G	5	-7,04984	111,15161
Bangkleyan Jati	2G	5	-7,27469	111,25642
Bangle	2G	5	-6,97092	111,4369
Bangle 2	2G	5	-6,97153	111,43092
Bangsri Grobogan	2G	5	-7,24104	110,98895
Banjarejo	2G	5	-7,034543	111,347029
Banjarejo Grobogan	2G	5	-7,10639	111,203
Barakan	2G	5	-7,663222222	111,0836111
Baturan	2G	5	-7,54319429	110,789886
Bayanan	2G	5	-7,4895833	111,11775
Bedingin	2G	5	-6,89785	111,22573

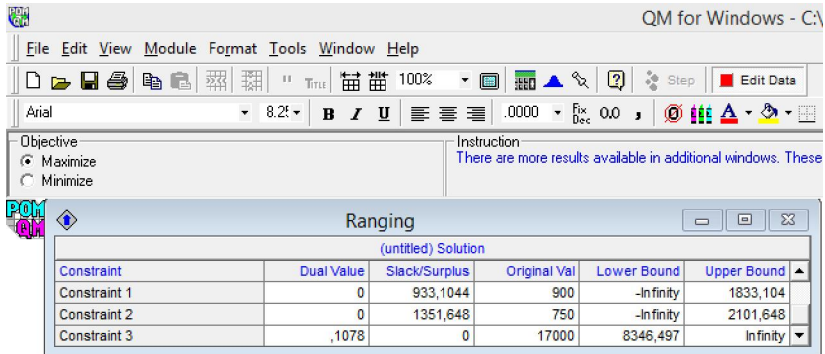
Bedoro	2G	5	-7,36258	111,12097
Bentak	2G	5	-7,441931	110,942656
Beruk	2G	5	-7,69553	111,124
Bhayangkara	2G	5	-6,96497	111,42707
Biting Sambong	2G	5	-7,08155	111,61264
Blora	2G	5	-6,972571	111,420135
Blora 2	2G	5	-6,96489	111,4135
Blora 3	2G	5	-6,97753	111,4101
Blora Barat	2G	5	-6,966861111	111,3800556
Blora Inner	2G	5	-6,915	111,4386111
Blora STO	2G	5	-6,96938	111,415
Bogem	2G	5	-6,91299	111,30969
Bogorejo	2G	5	-6,94058333	111,5221667
Bogorejo 2	2G	5	-6,91315	111,53614
Botok	2G	5	-7,513169444	111,0419472
Brati	2G	5	-7,0222	110,8685
Candi Ceto	2G	5	-7,594472222	111,1558056
Cepu Kota	2G	5	-7,14426	111,5919
Colomadu	2G	5	-7,532756	110,757802
Dayu Park	2G	5	-7,461305556	110,9914444
Desa Banjarharjo	2G	5	-7,511558	110,910682
Desa Pagak	2G	5	-7,34502	110,89795
Doplang	2G	5	-7,183361111	111,2898056
Galeh	2G	5	-7,25482	111,08559

Galuk	2G	5	-7,111138889	111,485
Gatot Subroto	2G	5	-6,97166	111,40708
Gaum	2G	5	-7,5818	110,96087
Gawan	2G	5	-7,409169	110,94083
Gayamdompo	2G	5	-7,618666667	111,0249444
Gemolong	2G	5	-7,40164	110,823
Genengan	2G	5	-7,67219	111,02094
Gentungan Pojoyok	2G	5	-7,5292	110,96409
Gesi	2G	5	-7,334944444	111,0082222
Getas Blora	2G	5	-7,320057	111,383677
Getas Cepu	2G	5	-7,15067	111,57838
Giri Margo DMT	2G	5	-7,38204	110,83324
Girimargo Sumberlawang	2G	5	-7,3351	110,847
Glugu Purwodadi	2G	5	-7,08968	110,92034
Godan	2G	5	-7,029833	111,029925
Gondang Rejo	2G	5	-7,50997222	110,81975
Gondosuli	2G	5	-7,662908	111,158255
Grobogan	2G	5	-7,03155	110,919895
Gubug Tegowara	2G	5	-7,041095	110,666679
Jambanan	2G	5	-7,41002	110,98616
Jambon	2G	5	-7,148913	111,007577
Janjang	2G	5	-7,018472222	111,5844444

Japah	2G	5	-6,943546	111,296509
Jaten	2G	5	-7,582583333	110,9109167
Jatiharjo	2G	5	-7,14944	111,06362
Jatipuro	2G	5	-7,751277778	111,0175833
Jatirejo Karanganyar	2G	5	-7,582111111	111,0854444
Jenengan Klambu	2G	5	-6,96352	110,779
Jetak Sidoharjo	2G	5	-7,43955556	110,9808611
Jetis Karanganyar	2G	5	-7,55717	110,88298
Jetis Sragen	2G	5	-7,52975	111,099417
Kalisari Randublatung	2G	5	-7,13823	111,42305
Karang Asem	2G	5	-6,960841	111,10312
Karanganyar Barat	2G	5	-7,51727	110,86784
Karanganyar Purwodadi	2G	5	-7,083997	110,916933
Karangjati	2G	5	-6,958388889	111,4246944
Mojogedang	2G	5	-7,571888889	111,0220556
Mulyo Rejo	2G	5	-7,160205	111,561918
Mungkung Sragen	2G	5	-7,431161	110,989979
Ngargosari	2G	5	-7,29629337	110,8722226
Nglorog	2G	5	-7,000777778	111,462
Palur	2G	5	-7,56514	110,877674

Pasar Tawangmangu	2G	5	-7,663819	111,135862
Pertamina Cepu	2G	5	-7,135035	111,596228
Perum Migas Cepu	2G	5	-7,12908	111,59705
Purwodadi	2G	5	-7,09611111	110,9141667
Randublatung	2G	5	-7,203916667	111,3923611
Rejosari Karanganyar	2G	5	-7,48426	110,83564
Ring Road Sragen	2G	5	-7,43315	111,03499
Samsat Karanganyar	2G	5	-7,591908	110,936226
Soko Semarang	2G	5	-6,896555556	111,4934167
Sragen	2G	5	-7,431142	111,023395
Sumber Lawang	2G	5	-7,328972222	110,8624167
Tawangharjo	2G	5	-7,086075	111,002812
Tawangmangu	2G	5	-7,66522	111,128
Tegalsari Karanganyar	2G	5	-7,59556	110,984294
Telkom Cepu	2G	5	-7,149757	111,590293
Wirosari	2G	5	-7,076273	111,097833
Wonorejo Karanganyar	2G	5	-7,52276	110,81235
Wonoroto	2G	5	-7,423526	110,84827

Lampiran E



QM for Windows - C:\

File Edit View Module Format Tools Window Help

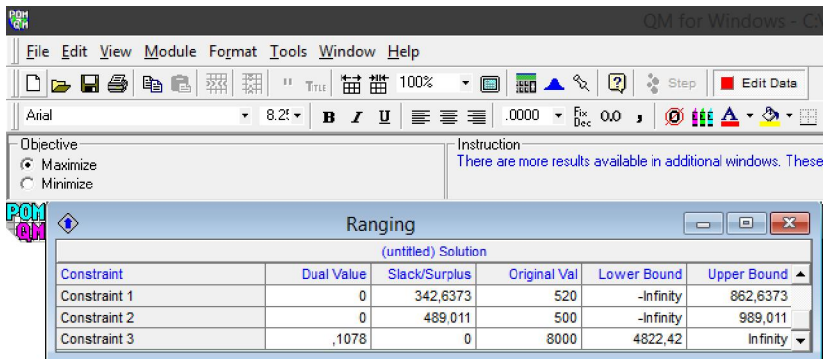
Objective: ☒ Maximize ☐ Minimize

Instruction: There are more results available in additional windows. These

Ranging (untitled) Solution

Constraint	Dual Value	Slack/Surplus	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
Constraint 1	0	933,1044	900	-Infinity	1833,104
Constraint 2	0	1351,648	750	-Infinity	2101,648
Constraint 3	,1078	0	17000	8346,497	Infinity

Gambar 13.1. Hasil Analisis Sensitivitas untuk Percobaan 1



QM for Windows - C:\

File Edit View Module Format Tools Window Help

Objective: ☒ Maximize ☐ Minimize

Instruction: There are more results available in additional windows. These

Ranging (untitled) Solution

Constraint	Dual Value	Slack/Surplus	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
Constraint 1	0	342,6373	520	-Infinity	862,6373
Constraint 2	0	489,011	500	-Infinity	989,011
Constraint 3	,1078	0	8000	4822,42	Infinity

Gambar 13.2. Hasil Analisis Sensitivitas untuk Percobaan 2

Objective: ☒ Maximize ☐ Minimize

Instruction: There are more results available in additional windows. These

Ranging

(untitled) Solution

Constraint	Dual Value	Slack/Surplus	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
Constraint 1	0	1495,742	1200	-Infinity	2695,742
Constraint 2	0	1640,659	1450	-Infinity	3090,659
Constraint 3	.1078	0	25000	11728,89	Infinity

Gambar 13.3. Hasil Analisis Sensitivitas untuk Percobaan 3